

Producción y descomposición de hojarasca en un robledal: relación con variables
estructurales del dosel, precipitación y humedad del suelo

Álvaro Sebastián Acevedo Bermúdez

Francy Liliana Machuca Duarte

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Forestal

Director

MSc. Diego Suescún Carvajal

Codirector

PhD. Juan Diego León Peláez

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

IPRED

Málaga, Santander

2022

Agradecimientos

No conozco los misterios del cosmos y las decisiones
que un ser supremo pueda tener conmigo,
más bien, soy un creyente de que el tiempo y la ocasión favorecen a todos,
por ello, las vicisitudes de sucesos permitieron mi presencia en esta institución,
y, por ende, estudiar esta bella carrera,
por esta razón,
agradezco el gran aporte que la Universidad Industrial de Santander hizo en mi vida,
brindándome la posibilidad de crecer intelectualmente,
al permitirme conocer al profesor Diego Suescún Carvajal,
un hombre con mucha visión y animo por el aprendizaje,
cuya dedicación, compromiso e ideas,
fueron transmitidas satisfactoriamente,
gracias, al profesor Juan Diego León, por su sabiduría y dirección en el trabajo de tesis.
Infinitas gracias a Francly Liliana Machuca,
una gran compañera y amiga,
que fue vital para el desarrollo de este proyecto,
con sus ideas, análisis y entrega,
a Jhazzneaide Martínez Celis,
una persona que estuvo en las buenas y malas en este proyecto,
su acompañamiento en campo instó al desarrollo favorable del mismo,
con su apoyo, buena vibra y optimismo,
A mis padres, Mabel Bermúdez Bayona y Óscar Correa Puentes,
son el ejemplo a seguir, mis pilares,
verlos cada día me hace recordar lo mucho que tengo que esforzarme
para lograr ser las personas ejemplares que son.
Por último, agradezco a mis profesores y compañeros de universidad, de los cuales aprendí,
conviví y por siempre voy a guardar esas experiencias vividas como bellos recuerdos.

Sebastián Acevedo Bermúdez

Agradezco primero a Dios, quien es el centro de mi vida,
mi eterna canción y el responsable de guiar e iluminar
cada paso y proyecto que emprendo;
a mi familia por ser mi motivación y compañía en cada decisión,
son el mejor ejemplo de lucha y perseverancia;
me han enseñado a soñar.

A la Universidad Industrial de Santander,
por acogerme y brindar
muchas posibilidades para crecer personal e intelectualmente.

Agradezco especialmente al profesor Diego Suescún
por ser más que nuestro profesor, por enseñarnos, escucharnos, guiarnos
y contagiarnos de la pasión con la que siempre hace las cosas.

A mi compañero de tesis y amigo Sebastián Acevedo,
por invitarme para ser parte de este maravilloso proyecto,
sin su compromiso, dedicación y pasión por el tema
no hubiese sido posible todo lo logrado.

A nuestro codirector Juan Diego León quien, con su experiencia,
sencillez y disposición nos acompañó en este proyecto;
infinitas gracias Jhazzneaide Martínez Celis por ser parte de este equipo,
por todo el trabajo en campo y la compañía en el proceso.

Finalmente, pero no menos importante
a todos los profesores de Ingeniería Forestal
y a todos los compañeros que directa e indirectamente
brindaron sus conocimientos y experiencias;
siempre los recordare.

Francy Liliana Machuca Duarte

Tabla de contenido

Introducción	15
1 Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2 Antecedentes	18
3 Marco Referencial.....	21
3.1 Marco Teórico.....	21
3.1.1 Bosques Andinos.....	21
3.1.2 Estructura de los Bosques	21
3.1.3 Diversidad de Especies	22
3.1.4 Producción y Descomposición de Hojarasca.....	22
3.1.5 Precipitación en los Bosques.....	23
3.1.6 Servicios Ecosistémicos.....	24
4 Metodología	25
4.1 Área de Estudio.....	25
4.2 Diseño Experimental.....	26
4.2.1 Montaje de Transectos	26
4.2.2 Instalación de Trampas de Hojarasca.....	27
4.2.3 Instalación de las Bolsas de Descomposición.....	27

4.2.4 Instalación de Pluviómetros	28
4.3 Monitoreo de Campo	28
4.4 2.4 Trabajo de Laboratorio.....	29
4.4.1 Producción Fina de Hojarasca.....	29
4.4.2 Descomposición de Hojarasca	29
4.4.3 Humedad Gravimétrica del Suelo	29
4.5 Procesamiento de Datos y Análisis Estadístico	30
4.5.1 Cálculo de la Producción Fina de Hojarasca	30
4.5.2 Cálculo de la Descomposición.....	30
4.5.3 Cálculo de la Precipitación	30
4.5.4 Calculo Humedad Gravimétrica del Suelo.....	31
4.5.5 Variables Estructurales, Índices de Diversidad y Propiedades Químicas del Suelo.....	31
4.5.6 Relación Entre la Producción y Descomposición de Hojarasca con las Variables Florísticas y Estructurales del Bosque, Precipitación y Humedad del Suelo	34
4.5.7 Pruebas Estadísticas para la Solvencia de los Modelos de Regresión Lineal	36
5 Resultados	38
5.1 Producción Fina y Descomposición de Hojarasca.....	38
5.1.1 Producción Fina Total, por Fracciones y su Variabilidad con la Precipitación Incidente.....	38

5.1.2 Comportamiento de la Producción Fina y Descomposición de Hojarasca con la Humedad Gravimétrica, Precipitación Interna e Incidente	40
5.2 Relación de la Producción y Descomposición de Hojarasca con la Humedad Gravimétrica, Precipitación Interna e Incidente	42
5.2.1 Relación e Influencia de la Producción de Fracciones con la Precipitación Incidente	43
5.2.2 Diferencias Significativas de las Fracciones de Hojarasca en los Periodos de Medición.....	45
5.3 Relación entre la Producción Fina, Producción de Hojas y Descomposición con la Estructura, Diversidad del Bosque y Propiedades Químicas del Suelo.	46
5.4 Modelamiento para la Descomposición y Producción Fina de Hojarasca.....	50
6 Discusión.....	53
6.1 Producción Fina de Hojarasca.....	53
6.1.1 Producción Fina de hojarasca y Contribución por Fracciones:.....	54
6.2 Relación de la Producción de Hojarasca Fina, Descomposición y Variables Temporales.....	55
6.3 Relación entre la Producción y Descomposición de Hojarasca con la Diversidad y Estructura del Bosque	58
7 Conclusiones y Recomendaciones	60
Referencias bibliográficas.....	62
Apéndices.....	72

Lista de figuras

- Figura 1 Mapa de ubicación de los transectos en el municipio de Molagavita Santander 25
- Figura 2 Dimensión de los transectos y distribución de los cuadrantes.....26
- Figura 3 Variabilidad en el tiempo de la producción fina de hojarasca por fracciones (kg/ha) y de la precipitación (mm): A. Hojas B. Inflorescencias C. Frutos y semillas D. Ramas E. Miscelánea.39
- Figura 4 A. Variabilidad en el tiempo de la producción fina, producción de hojas, precipitación incidente y precipitación interna. B. Variabilidad en el tiempo de la descomposición, precipitación incidente y precipitación interna C. Variabilidad en el tiempo de la descomposición y la humedad gravimétrica del suelo40
- Figura 5 A. Análisis de componentes principales para las variables producción fina de hojarasca, producción de hojas, descomposición, precipitación incidente, precipitación interna y humedad gravimétrica para cada una de las observaciones. B. Coeficientes de Pearson para las variables temporales (con P-Value entre paréntesis)42
- Figura 6 A. Análisis de componentes principales para las fracciones y la precipitación incidente. B. Correlaciones de Pearson encontradas entre las fracciones (kg/ha) y la precipitación (mm)
- 44
- Figura 7 Análisis de componentes principales, de la producción fina de hojarasca, producción de hojas, descomposición con variables estructurales, diversidad y propiedades químicas del suelo

en los respectivos transectos. A. Análisis de componentes principales en latizales B. Análisis de componentes principales en fustales47

Figura 8 Variabilidad en el tiempo de la masa seca residual, para muestras de hojarasca.....50

Figura 9 Modelo de regresión lineal para el cálculo de la producción de hojas en función de la biomasa en la categoría diamétrica latizal.51

Lista de tablas

Tabla 1	Ubicación de los transectos en los municipios de Molagavita, Santander	25
Tabla 2	Variables utilizadas para las correlaciones y pruebas estadísticas, discriminadas por transecto y categoría de tamaño	33
Tabla 3	A. P-Value para los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza para cada una de las fracciones. B. Determinación de P-Value con la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. C. Diferencias significativas entre los periodos con la prueba Wilcoxon	45
Tabla 4	Coefficientes de Pearson (con P-Value en paréntesis) de la producción de hojas, producción fina de hojarasca y descomposición, con las variables estructurales, diversidad y propiedades químicas del suelo	49

Lista de apéndices

Apéndice A	Construcción e instalación de trampas de hojarasca	72
Apéndice B	Elaboración e instalación de bolsas de descomposición	72
Apéndice C	Instalación de pluviómetros	73
Apéndice D	Procedimientos realizados en monitoreo de campo	73
Apéndice E	Trabajo laboratorio producción de hojarasca	75
Apéndice F	Trabajo laboratorio descomposición de hojarasca y humedad del suelo	76

Glosario

Ambiente: Es el conjunto de factores externos (atmosféricos, climáticos, hidrológicos, geológicos y biológicos) que actúan sobre un organismo, una población o una comunidad. Dichos factores inciden directamente sobre el crecimiento, desarrollo, reproducción y supervivencia de los seres vivos, por lo cual afectan la estructura y dinámica de las poblaciones y de las comunidades bióticas.

Área basal: Área o superficie de cada árbol calculada usando el diámetro de la altura del pecho (1,3 m) y se expresa como el área basal total en m^2 , por unidad de área.

Biodiversidad: Es la diversidad y variabilidad de organismos vivos dentro de cada especie, entre las especies y en los ecosistemas.

Cambio climático: Es un cambio en el estado del clima o su variabilidad. Es identificado por la variabilidad en las propiedades del clima, que persiste por un tiempo prolongado y se puede identificar mediante el uso de pruebas estadísticas.

Capacidad de intercambio catiónico: Hace referencia a la medida de la cantidad de cargas negativas o aniones presentes en las arcillas del suelo, materia orgánica o sustancias húmicas, y establece la cantidad de cationes que el suelo puede llegar a retener. Así, es una medida del potencial que presenta el suelo para retener e intercambiar nutrientes, aspecto fundamental para la nutrición vegetal.

Cociente de mezcla: Es una relación entre el número de especies e individuos que está presente en un área natural, su valor se encuentra entre cero y uno e indica la homogeneidad del área natural para los valores más bajos y heterogeneidad para aquellos que se acercan a la unidad.

Conservación: La gestión de la utilización de la biosfera por el ser humano, de tal forma que produzca un beneficio para las generaciones actuales, pero que mantenga su potencialidad para satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones futuras.

Diversidad de especies: Es una medida de la complejidad de una comunidad. Es una función tanto del número de especies diferentes (riqueza de especies) como de sus abundancias relativas (uniformidad de especies). Un mayor número de especies y una abundancia más uniforme de las mismas resultan en una mayor diversidad de especies.

Hojarasca: Es una medida de la producción primaria neta del ecosistema y está fuertemente correlacionada con el incremento de la biomasa, la densidad de árboles y la apertura del dosel; sin embargo, es afectada por variables ambientales como precipitación, temperatura, elevación, fertilidad de los suelos y la evapotranspiración potencial.

Riqueza de especies: La riqueza de especies es el número de especies diferentes en una comunidad particular.

Resumen

Título: Producción y descomposición de hojarasca en un robleal: relación con variables estructurales del dosel, precipitación y humedad del suelo. *

Autor: Sebastián Acevedo Bermúdez Francy Liliana Machuca Duarte **

Palabras clave: Producción de hojarasca, bolsas de descomposición, robleal, servicios ecosistémicos, funcionalidad del bosque, productividad del bosque.

Descripción:

Los bosques altoandinos son importantes para la provisión de bienes y servicios ecosistémicos, éstos han sido afectados por la deforestación y el cambio climático, limitando su funcionalidad. Es importante estudiar la producción y descomposición de la hojarasca en relación con variables meteorológicas y estructurales del bosque, para mejorar el entendimiento de procesos clave para su conservación y restauración. Así, en parcelas permanentes, ubicadas en un robleal de los Andes colombianos, se instalaron trampas de hojarasca y bolsas de descomposición, las cuales, se monitorearon quincenalmente, por diez meses para producción y seis meses para descomposición. Se monitoreó además la precipitación interna, y la humedad del suelo, se caracterizaron variables estructurales del bosque, y se tomaron muestras de suelo. La producción fina total de hojarasca fue de 4780 kg/ha/año, siendo la fracción más representativa las hojas (60,39%), mientras las inflorescencias presentaron el menor valor (1,11%); la descomposición fue del 25% al 30%. La producción final total mostró correlaciones significativas con la precipitación incidente (0,6, *P-Value*=0,006), altura (-0,98, *P-Value* = 0,001) y biomasa área (0,97, *P-Value* = 0,006). Con la descomposición, se encontraron correlaciones con la humedad gravimétrica (0,75, *P-Value*=0,006), índice de Margalef (-0,85, *P-Value* = 0,06) y con el cociente de mezcla (-0,81, *P-Value*=0,08), lo anterior para árboles del sotobosque (DAP promedio 4,9 cm). Finalmente, se resalta la importancia de conocer las variables que repercuten y explican procesos como la producción y descomposición ya que permitirán plantear estrategias para el mantenimiento de la funcionalidad del bosque y la mitigación del efecto del cambio climático en los ecosistemas.

* Trabajo de grado

* Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia IPRED. Programa Ingeniería forestal. Director: MSc. Diego Suescún Carvajal Codirector: PhD. Juan Diego León Peláez

Abstract

Title: Leaf litter production and decomposition in an oak forest: relationship with canopy structural variables, precipitation and soil moisture. *

Author: Sebastián Acevedo Bermúdez-Francy Liliana Machuca Duarte**

Key words: Litter production, litter bags, oak forest, ecosystem services, forest functionality, forest productivity.

Description:

High Andean forests are important for the provision of ecosystem goods and services, these have been affected by deforestation and climate change, limiting their functionality. It is important to study litter production and decomposition in relation to meteorological and structural variables of the forest, to improve the understanding of key processes for its conservation and restoration. Thus, in permanent plots, located in an oak forest in the Colombian Andes, leaf litter traps and litter bags were installed and monitored biweekly for ten months for litter production and six months for decomposition. Internal precipitation and soil humidity were also monitored, structural variables of the forest were characterized, and soil samples were taken. Total fine litter production was 4780 kg/ha/year, with leaves being the most representative fraction (60.39%), while inflorescences presented the lowest value (1.11%); decomposition was between 25% and 30%. Total fine production showed significant correlations with incident rainfall (0.6, P-Value = 0.006), height (-0.98, P-Value = 0.001) and biomass area (0.97, P-Value = 0.006). With decomposition, correlations were found with gravimetric humidity (0.75, P-Value=0.006), Margalef index (-0.85, P-Value=0.06) and with the mixing ratio (-0.81, P-Value=0.08), the above for understory trees (average DBH 4.9 cm). Finally, the importance of knowing the variables that affect and explain processes such as production and decomposition is highlighted, as this will allow us to propose strategies for the maintenance of forest functionality and the mitigation of the effect of climate change on ecosystems.

* Degree work

* Institute of Regional Projection and Distance Education IPRED. Forestry Engineering Program. Director: MSc. Diego Suescún Carvajal. Coodirector: PhD. Juan Diego León Peláez

Introducción

El norte de los Andes es reconocido como uno de los principales núcleos de diversidad y especiación en el mundo (Marian et al., 2018). Allí, los bosques naturales brindan servicios ecosistémicos derivados de factores bióticos y abióticos (Balvanera, 2012) que favorecen a la población a nivel nacional y regional (López, 2016). Particularmente, los bosques altoandinos en áreas tropicales redistribuyen gran cantidad de agua procedente de la precipitación, que es albergada en el dosel (intercepción) y la capa de hojarasca (Bruijnzeel et al., 2011). La hojarasca, además de albergar agua, mantiene un microclima en la superficie del suelo y su descomposición favorece el ciclo de nutrientes y la fertilidad (Oliveira, 2019), por lo tanto, los bosques altoandinos ayudan a la regulación hídrica y conservación del suelo, a la captura de gases de efecto invernadero, y proporcionan madera al igual que importantes Productos Forestales no Maderables (Segura, Andrade & Sierra, 2019).

La producción de hojarasca fina se utiliza como una medida de la productividad primaria neta de los bosques (Quinto et al., 2017), la cual es fundamental en un ecosistema, ya que por medio de ella se genera material orgánico que se almacena en un área y en un periodo de tiempo determinado; además, es un proceso importante para el análisis de capacidad de almacenamiento de biomasa en los ecosistemas, debido a la característica que tienen los bosques de ser sumideros y reservorios de Carbono (Mosquera et al., 2007).

Por otra parte, la descomposición de la hojarasca consiste en una mezcla de procesos que vinculan la lixiviación, fragmentación, cambios en la estructura física y química del suelo, y la ingestión y la excreción del material vegetal (Smith y Smith, 2007). Estos procesos son fundamentales para la formación de materia orgánica del suelo, la mineralización de los nutrientes orgánicos y el equilibrio de Carbono en el suelo forestal, además, depende de la composición

química del material, los factores climáticos y la actividad de los microorganismos (Xiaogai et al., 2013).

Entre los bosques altoandinos se encuentra el robledal, bosque dominado por *Q. humboldtii* Bonpl., característico de los Andes colombianos. A pesar de su importancia y distribución restringida, los robledales han sido afectados en las últimas décadas por la creciente deforestación y el cambio climático (Ávila, 2010). Estos factores han generado que los servicios ecosistémicos soportados por la funcionalidad del bosque y la diversidad de especies, pierdan campo en el equilibrio terrestre y se dificulte su estudio (IDEAM, 2018). Además, es poca la investigación sobre la producción fina de hojarasca y la descomposición en relación con los servicios ecosistémicos prestados por los robledales, más aún en la provincia de García Rovira donde no se han desarrollado estudios que contribuyan al entendimiento de la dinámica, estructura, y ecología de los bosques, lo que ha dificultado el planteamiento de propuestas y alternativas de conservación.

Por lo anterior, es importante plantear investigaciones de línea base que permitan tener un conocimiento claro a través del tiempo de la producción fina de hojarasca y descomposición y su relación con variables meteorológicas y estructurales del bosque. Con esto, se podría contribuir a mejorar el entendimiento sobre flujos de Carbono y otros procesos del suelo con influencia en la fertilidad y la provisión de bienes y servicios de los bosques naturales (Flores et al., 2018).

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Contrastar la producción y descomposición de hojarasca de un robledal con variables estructurales y florísticas de individuos fustales y latizales, además con la precipitación y humedad del suelo.

1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la producción y descomposición de hojarasca a escala quincenal
- Determinar la relación de producción y descomposición de hojarasca con la humedad del suelo y la precipitación interna del bosque.
- Relacionar la producción y descomposición de la hojarasca con la estructura y diversidad en categoría de tamaños fustales y latizales.

2 Antecedentes

Sayer et al. (2020) mostraron los hallazgos del Proyecto de Manipulación de Hojarasca Gigante (GLiMP) en donde se hizo seguimiento de la caída de hojarasca en parcelas establecidas a gran escala en un tiempo de 15 años. Evaluaron los cambios en las concentraciones de nutrientes del suelo y de hojarasca y realizaron una estimación del retorno y la eficiencia de nutrientes. Establecieron que la concentración de gran parte de los nutrientes aumentó con la adición de hojarasca y que la remoción de la misma alteró el ciclo de Nitrógeno, Potasio, Manganeso y Zinc, resaltando la importancia de la caída de hojarasca en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Rave, Montenegro & Molina (2013) evaluaron la caída y descomposición de hojarasca en dos unidades boscosas (bosque maduro intervenido y bosque sucesional joven), el seguimiento se realizó en 32 parcelas permanentes por un año. La tasa de descomposición se determinó mediante el uso de bolsas de descomposición de hojarasca ubicadas en el suelo del bosque por un periodo de seis meses. No encontraron diferencias significativas en la caída de hojarasca; para el proceso de descomposición se obtuvo una pérdida superior al 50% en el peso inicial registrado.

León et al. (2011) estudiaron la caída y acumulación de hojarasca fina y el retorno de nutrientes en un robledal. Se determinó que la caída de hojarasca fina en el robledal fue de (7,5 Mg/ha/año) y que la cantidad de nutrientes retenidos en el mantillo fue de (78 kg/ha) sin considerar el Carbono. Además, se analizó la función ecosistémica de los procesos estudiados y establecieron que éstos eran muy superiores vía provisión de nutrientes al suelo y regulación de los ciclos biogeoquímicos, aspectos muy importantes a tener en cuenta en los procesos de reforestación.

Rocha & Ramírez (2009) calcularon la producción de hojarasca en dos comunidades en diferente estado sucesional. La descomposición de hojarasca se evaluó en siete especies (*Alnus acuminata subsp. arguta*, *Chiranthodendron pentadactylon*, *Clethra suaveolens*, *Liquidambar styraciflua*, *Quercus crassifolia*, *Quercus sapotifolia* y *Pinus oocarpa*). Establecieron que la mayor descomposición de hojarasca se dio con la especie *Alnus acuminata*, además, de no detectarse diferencias significativas entre las condiciones de cada bosque.

Zapata et al. (2007) evaluaron la producción de hojarasca en un periodo de dos años en bosques naturales montanos y reforestados. Utilizaron trampas de hojarasca para captar el material vegetal desprendido del dosel y luego ser separado en fracciones, se estableció que el componente foliar presenta mayor participación en la producción total. Además, se analizó la influencia de la intensidad y la cantidad de lluvia en la recolección de hojarasca, se midió durante dos años el flujo de nutrientes a través de la hojarasca y se utilizaron 20 trampas de hojarasca. Determinaron que el Carbono, Nitrógeno y Calcio fueron los nutrientes de mayor retorno en cada ecosistema. Así, se analizó que las plantaciones de coníferas es el ecosistema que presentaba menor retorno de elementos hasta el suelo.

Scherer, Bonilla y Potvin (2007), estudiaron la producción y descomposición de la hojarasca en un experimento en la zona tropical de Panamá, con el fin de relacionar la diversidad de árboles y el funcionamiento del ecosistema. Establecieron 24 parcelas en donde se estimó la producción de hojarasca mediante el uso de trampas y la tasa de descomposición con el método de bolsas de descomposición de hojarasca. Encontraron que la producción de hojarasca en la estación seca fue muy variable entre las especies y que la diversidad influyó en la producción. Además, determinaron que la tasa de descomposición es muy específica a las especies y que esto está relacionado con parámetros de calidad de la hojarasca (C/N, lignina/N, contenido de fibra). Se

analizó que no hay efecto de la riqueza de especies de árboles en la producción y descomposición de hojarasca.

3 Marco Referencial

3.1 Marco Teórico

3.1.1 *Bosques Andinos*

En América del Sur se define a los bosques andinos como ecosistemas que sobrepasan los 1000 m s. n. m. (Quintero et al., 2018). En Colombia estos bosques representan alrededor del 24% del territorio (IDEAM, 2017). Dentro de estos se localizan los bosques altoandinos o bosques de niebla (2000 a 3500 m s. n. m.), conocidos por almacenar y suministrar aportes de agua a lo largo del año y poseer gran diversidad de flora y fauna (Tobón, 2009). En estos límites altitudinales se encuentran los robledales, dominados por la especie *Q. humboldtii*, de origen holártico que llegó al noreste de los Andes hace más de 350.000 años, caracterizado por su gran producción de hojarasca, asociarse con especies del género *Weinmannia*, *Clusia*, *Alfaroa*, *Drimys* y concentrar gran diversidad de epífitas de la familia Orchidaceae y Bromeliaceae (Ávila et al., 2010). Por los beneficios maderables y no maderables que brinda *Q. humboldtii*, su tala indiscriminada ha hecho que se catalogue en estado de vulnerabilidad (VU) (Salinas y Cárdenas, 2007). Por otra parte, es importante destacar, la presencia del roble negro, *Colombobalanus excelsa*, especie endémica de la zona andina colombiana. Al igual que el *Q. humboldtii*, ha sido afectado por los procesos de transformación del bosque, por cambios en el uso del suelo (Aldana et al., 2011).

3.1.2 *Estructura de los Bosques*

Hace referencia a la distribución de las características arbóreas en el espacio, teniendo especial importancia la distribución de las diferentes especies y la distribución de las mismas por clases de tamaño (Alvis, 2009). Estas características son:

- Estructura horizontal: se refiere a la cobertura del estrato leñoso sobre el suelo, ésta cuantificación es reflejada por la distribución de individuos por clases diamétricas (DAP, área basal, densidad arbórea) y varía de acuerdo con las características del suelo y el clima.
- Estructura vertical: se refiere a la disposición de las plantas de acuerdo con sus formas de vida en los diferentes estratos de la comunidad vegetal (dosel, sotobosque, arbustos y suelo forestal), muy ligada a la altura de los árboles que componen un bosque. Esta estructura varía de acuerdo con la necesidad de las plantas por la luz solar.

3.1.3 *Diversidad de Especies*

Para determinar la diversidad alfa de especies se identifican principalmente dos métodos: Determinación del número de especies presentes en la comunidad y aquellos que se basan en la estructura del área natural representada en la abundancia relativa de los individuos que su vez se clasifican en los índices que tienen en cuenta la dominancia o la equidad de la comunidad.

Se calcula mediante los índices de diversidad, entre los que se encuentran: índice de riqueza específica Margalef, índice de dominancia Simpson, índice de equidad Shannon, entre otros. Estos índices permiten conocer el funcionamiento de un ecosistema (Malacalza, 2013) y son importantes para comprender la biodiversidad vegetal en los trópicos y sus implicaciones para la conservación y el manejo (Saho et al., 2017).

3.1.4 *Producción y Descomposición de Hojarasca*

Debido a la alta diversidad de especies y alta Producción Primaria Neta de los bosques tropicales, éstos captan aproximadamente 3040 gr C/m²/año actuando como sumideros para almacenar Carbono (C). Estos ecosistemas también favorecen procesos esenciales como el ciclaje de nutrientes y representan el principal acceso de materia orgánica y nutrientes desde el dosel y

sotobosque a el suelo forestal (Kothandaraman et al., 2020). La producción de hojarasca es una medida de la Producción Primaria Neta del bosque, ligada al incremento de la biomasa, densidad de árboles y apertura del dosel; sin embargo, es afectada por variables como precipitación, temperatura, elevación y fertilidad del suelo (Nonghuloo et al., 2020).

Por su parte, la descomposición de hojarasca disminuye la materia orgánica a sus constituyentes químicos más elementales y está dividida en cuatro etapas: I) Trituración o fraccionamiento del material, II) Lixiviación, que es la pérdida de elementos o compuestos solubles, III) Catabolismo, que es la degradación de los compuestos orgánicos a su forma más simple y IV) Humificación, que es la formación de materia orgánica gracias a los microorganismos del suelo (Sánchez, 2001). Si la descomposición es rápida, los nutrientes se pueden perder por lixiviación en el suelo, si por el contrario la descomposición es lenta, los nutrientes disponibles para las plantas pueden ser insuficientes e impedir el crecimiento de las mismas (Castellanos & León, 2010).

3.1.5 *Precipitación en los Bosques*

Por encima del dosel de los bosques se presentan procesos que favorecen en gran medida otros diversos procesos ecológicos fundamentales para el mantenimiento de la diversidad de los ecosistemas, entre ellos, la precipitación incidente o lluvia, procedente de eventos climáticos formados en la atmósfera, que cae sobre el dosel y que parte de ella es interceptada para posteriormente evaporarse; el agua que no es interceptada por el dosel, penetra su superficie para depositarse en el suelo vía precipitación interna, que es el agua que fluye desde las copas de los árboles. El otro flujo se desliza por los tallos de los individuos arbóreos y llega en pequeños porcentajes al suelo del bosque es la escorrentía cortical. Estas entradas de agua a los bosques, y sus salidas (evaporación, infiltración y escorrentía superficial) conforman en su conjunto el

balance hidrológico el cual brinda un mejor entendimiento sobre el manejo del bosque (Suescún, 2017).

3.1.6 *Servicios Ecosistémicos*

Son los beneficios que las comunidades obtienen de los ecosistemas directa o indirectamente (Balvanera, 2012). Se dividen en tres tipos de servicios:

- Servicios de suministro:

Son los beneficios que se pueden extraer directamente del bosque, ya sea animales para consumo, la madera para construcción, el látex para la formación del caucho, entre otros.

- Servicios de regulación:

Son los beneficios que los bosques realizan para el equilibrio del ambiente: la absorción de CO₂ que disminuye los efectos en el cambio climático; los bosques reflejan una gran cantidad de luz solar que impide el aumento de temperatura en una determinada región; evitar la erosión gracias a que las raíces de árboles penetran el suelo fortaleciéndolo; entregar agua a los cauces de los ríos cercanos; contribuir a la formación de diversidad en una determinada región.

- Servicios culturales:

Hace referencia a los beneficios no materiales que obtienen las comunidades: la visión sagrada o cosmovisión de los pobladores con respecto al bosque; el ecoturismo; el bien estético, entre otros.

4 Metodología

4.1 Área de Estudio

El estudio se realizó en la Cordillera Oriental de los Andes, en cinco transectos instalados por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga (Jaimes & Rosales, 2019). Los transectos están ubicados en el municipio de Molagavita, vereda El Llano, en un robleal ubicado en la zona de vida de bosque húmedo montano (bh-M). La zona se caracteriza por temperaturas entre los 6 y 12°C, y una precipitación de 1765,4 mm anuales, según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). El área de estudio se encuentra en un paisaje montañoso, con características de relieve moderado a fuertemente escarpado (IGAC, 2002). En la Tabla 1, se presentan las coordenadas de los transectos de estudio (Tabla 1):

Tabla 1

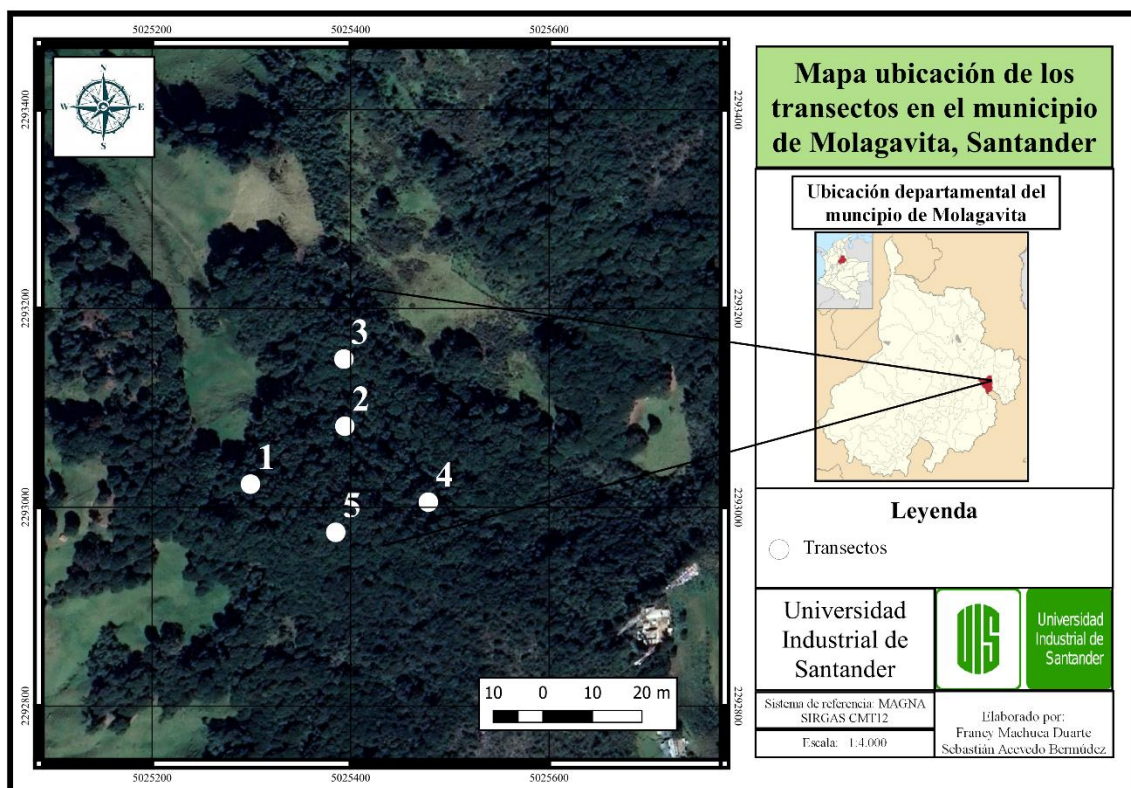
Ubicación de los transectos en los municipios de Molagavita, Santander

Transectos	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud m s. n. m.
T1	Molagavita	6°39'6,65"	72°46'15,68"	3149
T2	Molagavita	6°39'8,55"	72°46'12,58"	3155
T3	Molagavita	6°39'10,75"	72°46'12,61"	3137
T4	Molagavita	6°39'6,06"	72°46'9,84"	3184
T5	Molagavita	6°39'5,07"	72°46'12,88"	3176

En la Figura 1 se presenta la ubicación de los transectos del Municipio de Molagavita:

Figura 1

Mapa de ubicación de los transectos en el municipio de Molagavita Santander



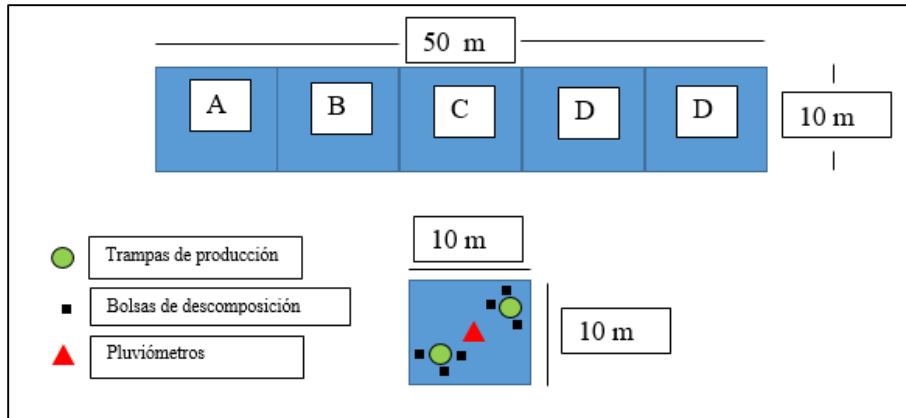
4.2 Diseño Experimental

4.2.1 Montaje de Transectos

Se establecieron transectos en forma rectangular, con un área de 0,05 ha (50 x 10 m), separados entre sí con una distancia mínima de 50 m. La proyección del transecto se estableció sobre un plano horizontal, pero en el terreno real la horizontalidad no siempre se cumple, por eso en estos casos se efectuó una corrección de pendiente. Los transectos fueron subdivididos en cinco cuadrantes de 100 m² (10 x 10 m) identificados como: A, B, C, D, E (Jaimes & Rosales, 2019) (Figura 2).

Figura 2

Dimensión de los transectos y distribución de los cuadrantes



4.2.2 *Instalación de Trampas de Hojarasca*

Para determinar la producción fina de hojarasca (kg/ha/año) se utilizaron trampas de hojarasca, las cuales fueron construidas con un área de $0,5 \text{ m}^2$, de forma circular, elaboradas con alambre calibre seis y una malla de 1 mm de ojo que retuviera la hojarasca, pero que, a su vez, permitiera la circulación del agua (Apéndice 1) (Zapata, Ramírez, León y Gonzales, 2007).

Las trampas se ubicaron al azar por medio del programa QGIS, donde se subió un polígono del área de influencia de los transectos y mediante las herramientas de investigación (puntos al azar en polígonos) se definió el número de puntos y la distancia mínima que fue de 0,5 m; de esta forma se establecieron dos trampas por cuadrante, para un total de 10 trampas por transecto y 50 para todo el estudio.

4.2.3 *Instalación de las Bolsas de Descomposición*

Para estudiar la descomposición, se tomó material recién caído del dosel de la especie *Q. humboldtii* y se llevó al laboratorio de la Universidad Industrial de Santander, Sede Málaga. Posteriormente, este material se introdujo en bolsas de descomposición y fueron ubicadas en los transectos del respectivo bosque. Se establecieron 14 bolsas en los transectos T2, T3 y T5 y 15 bolsas en T1 y T4; para un total de 72 bolsas de descomposición para todo el estudio. Estas, se

elaboraron con malla de anejo, con una dimensión de 20 x 20 cm con un ojo de malla de 1 mm (Zapata et al., 2007). La ubicación de las bolsas para determinar la descomposición fue al azar por medio del programa QGIS (Apéndice 2).

4.2.4 Instalación de Pluviómetros

Para medir la precipitación incidente e interna, los pluviómetros se elaboraron con un embudo de diámetro de 15 cm cubierto con una malla fina para impedir que se obstruyera la entrada de agua al recipiente del pluviómetro. El embudo fue conectado por medio de una manguera a un recipiente plástico, y todos los pluviómetros se ubicaron a una altura de 80 cm sobre el suelo por medio de dos patas de PVC. Se ubicó un pluviómetro en el punto central de cada cuadrante de los transectos. Se instaló un total de cinco pluviómetros dentro del bosque y se establecieron dos afuera del mismo para obtener la precipitación incidente (Apéndice 3).

4.3 Monitoreo de Campo

Las muestras de hojarasca recolectadas de las trampas, fueron depositadas en bolsas plásticas debidamente identificadas con el nombre del transecto, cuadrante y repetición (Ejemplo: T1ATR1), este proceso se llevó a cabo durante 10 meses, cada 15 días. Para determinar la descomposición, se recolectó una bolsa cada 15 días por transecto, para un total de cinco bolsas por fecha, esta medición se realizó por un tiempo de siete meses. La precipitación incidente e interna recolectada por los pluviómetros fue depositada en recipientes plásticos reciclables, obteniendo siete muestras en total con una frecuencia quincenal, durante diez meses. Para el caso de la humedad gravimétrica, se extrajeron tres muestras al azar por transecto, en recipientes cilíndricos de 5 cm de diámetro y 6 cm de altura. Para que la muestra no perdiera o ganara humedad en su transporte al laboratorio, estos cilindros eran introducidos en bolsas herméticas; en total se recolectaron 15 muestras por fecha, en frecuencia quincenal durante seis meses (Apéndice 4).

4.4 2.4 Trabajo de Laboratorio

4.4.1 *Producción Fina de Hojarasca*

Una vez recolectada la hojarasca de cada una de las trampas, se transportaron las muestras al laboratorio para ser sometidas a un régimen de secado a 70°C durante 72 h. Posteriormente, se separaban en fracciones: hojas, inflorescencias, ramas menores a 2 cm de diámetro, frutos y semillas y miscelánea, para calcular la masa seca de cada fracción y la masa total por trampa (León et al., 2011) (Apéndice 5).

4.4.2 *Descomposición de Hojarasca*

El material recién recolectado del dosel, se sometió a un secado en laboratorio a 70°C por 72 h. Posteriormente, se depositó una masa inicial seca de 10 g por bolsa para ser ubicadas en campo. Las muestras recolectadas quincenalmente, se sometieron al mismo procedimiento de secado, para el cálculo de la masa seca residual (Castellanos & León, 2011) (Apéndice 6).

4.4.3 *Humedad Gravimétrica del Suelo*

Se utilizaron refractarias de aluminio respectivamente marcadas con el nombre del transecto y el número de la muestra (Ejemplo: T1M1); éstas, fueron pesadas luego de estar en el horno a 105°C por 20 min para retirar restos de humedad. Una vez realizado dicho proceso, el suelo fue ubicado en cada uno de estos recipientes, para luego calcular la masa húmeda mediante el uso de una balanza de precisión. Posteriormente, se sometieron a 105°C por 48 h para obtener el registro de la masa seca (Flores y Alcalá, 2010) (Apéndice 7).

4.5 Procesamiento de Datos y Análisis Estadístico

4.5.1 *Cálculo de la Producción Fina de Hojarasca*

Para determinar la variabilidad en el tiempo de la producción fina de hojarasca, la masa seca por fracciones y por trampa fue totalizada en fechas y luego extrapolada a unidades de kg/ha. Para calcular la producción fina de hojarasca total para el bosque, se sumaron los valores por fracciones (kg/ha) y se extrapolaron a año para obtener la participación porcentual de cada fracción respecto a la producción registrada.

4.5.2 *Cálculo de la Descomposición*

Para determinar su variabilidad en el tiempo, la descomposición de hojarasca se calculó a partir de contrastar la masa seca inicial, con la masa seca residual. Luego, se ajustaron los datos a un modelo de regresión simple, verificando los supuestos de: Normalidad, homogeneidad de la varianza, linealidad e independencia.

4.5.3 *Cálculo de la Precipitación*

Al obtener el volumen (cm³) del agua extraída de los recipientes plásticos, se procedió a hallar la lámina (mm) de agua por medio de la fórmula propuesta por León y Gallardo (2010), y posteriormente, obtener precipitación quincenal (mm) de los pluviómetros instalados en el interior y exterior del bosque:

$$L = V/A$$

Donde:

L = lámina de agua en mm

V = volumen del recipiente plástico en cm³

A = área del embudo en cm^2

En la fórmula anterior, se obtuvo la lámina en cm y por ello, se realizó la conversión a mm, ya que esta unidad es la establecida para el cálculo de la precipitación.

4.5.4 *Calculo Humedad Gravimétrica del Suelo*

Calculada la masa húmeda y seca del suelo, se contrastaron estos valores en la fórmula planteada en el manual realizado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (2013), para el cálculo de la humedad gravimétrica del suelo:

$$HW = \frac{M_{humedo} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100$$

Donde:

HW = Humedad gravimétrica %

M_{humedo} = Masa húmeda (g)

M_{seca} = Masa seca (g)

4.5.5 *Variables Estructurales, Índices de Diversidad y Propiedades Químicas del Suelo*

En la Tabla 2, se presenta las variables estructurales y de diversidad tenidas en cuenta para el estudio: Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), Altura (H), Área de Copa (AC), Densidad de Individuos (Densi), Biomasa Aérea del Bosque (Bio), Cociente de Mezcla (CM), índice de diversidad de Margalef (M), Simpson (Sim) y Shannon (SH). Estas variables fueron calculadas a partir de los resultados obtenidos en la investigación de Jaimes y Rosales (2019), las cuales estudiaron la estructura y diversidad de cinco parcelas permanentes; es importante recalcar que los valores usados en las pruebas estadísticas y modelos de regresión fueron datos promedios por transectos. Para el caso del estudio, los datos se discriminaron por transecto y tamaño de categoría

diamétrica: latizal con $DAP \geq 2,5$ cm <10 cm y fustales con $DAP \geq 10$ cm. En cuanto a la biomasa aérea, se tuvo en cuenta la ecuación para la zona de vida (bh-M) planteada por (Álvarez et al., 2010), se tuvo en cuenta la Biomasa Promedio (BioPromedio) por transectos para las correlaciones y el modelo de regresión lineal simple:

$$Bio = e^{(-2,616382155+(2,3733*\ln(DAP))}$$

Bio = Biomasa en kg, DAP = Diámetro a la altura del pecho cm

Para las propiedades químicas del suelo, se tuvieron en cuenta los resultados de la investigación de Domínguez y Silva (2020), las cuales tomaron muestras de suelo en las parcelas permanentes, para analizar el efecto de las propiedades fisicoquímicas del suelo sobre la diversidad y estructura de brinzales. Las variables tenidas en cuenta fueron: Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Aluminio (Al). La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se obtuvo a partir de la suma de las bases: Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Aluminio (Al) y la variable Saturación de Aluminio (SAI) se calculó a partir de la siguiente ecuación (Jaramillo, 2002):

$$SAI = \frac{Al}{CIC} \times 100$$

Tabla 2

Variables utilizadas para las correlaciones y pruebas estadísticas, discriminadas por transecto y categoría de tamaño

Variables	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4	Transecto 5
Producción y descomposición					
Pho (kg/ha)	2,96 ± 1,18	2,60 ± 1,22	2,21 ± 1,15	2,15 ± 1,18	1,60 ± 0,98
Pfi (kg/ha)	4,8 ± 2,07	3,53 ± 1,61	3,94 ± 2,17	3,69 ± 2,08	3,12 ± 1,95
Des (%)	14,95 ± 9,87	18,03 ± 10,39	15,45 ± 9,24	17,34 ± 9,37	13,61 ± 7,82
Estructura (Fustales)					
DAP (m)	0,23 ± 0,2	0,16 ± 0,09	0,41 ± 0,22	0,21 ± 0,14	0,23 ± 0,12
H (m)	11,69 ± 4,2	13,09 ± 6,65	18,65 ± 7,83	11,98 ± 5,38	13,37 ± 4,25
AC (m ²)	29,14 ± 36,04	12,07 ± 14,97	74,18 ± 64,47	29,69 ± 29,11	23,63 ± 20,55
Densi (n° ind)	520	520	200	500	500
Bio(ton/ha)	32,08 ± 4,03	8,58 ± 0,59	28,68 ± 2,96	18,19 ± 1,19	18,99 ± 0,97
BioPromedio(ton/ha)	1,23 ± 4,03	0,33 ± 0,59	2,87 ± 2,96	0,73 ± 1,19	0,76 ± 0,97
Índices de diversidad (Fustales)					
CM	0,27	0,27	0,20	0,36	0,16
M	1,84	1,84	0,43	2,49	0,93
Sim	0,76	0,78	0,18	0,72	0,51
SH	1,64	1,67	0,32	1,69	1,80
Estructura (Latizales)					
DAP (m)	0,05 ± 0,021	0,05 ± 0,021	0,047 ± 0,018	0,048 ± 0,017	0,044 ± 0,018
Altura (m)	2,73 ± 0,48	4,38 ± 0,35	6,37 ± 0,10	8,08 ± 0,42	11,39 ± 0,35
AC (m ²)	4,52 ± 3,66	1,78 ± 1,65	1,87 ± 1,83	1,91 ± 2,31	1,51 ± 1,39
Densi (n° ind)	2600	4280	860	2380	680
Bio(ton/ha)	2,31 ± 0,016	3,55 ± 0,015	0,60 ± 0,012	1,74 ± 0,012	0,42 ± 0,011
BioPromedio(ton/ha)	0,016 ± 0,016	0,015 ± 0,015	0,013 ± 0,012	0,014 ± 0,012	0,012 ± 0,011
Índices de diversidad (Latizales)					
CM	0,11	0,07	0,26	0,10	0,35
M	2,86	2,61	2,66	2,30	3,12
Sim	0,82	0,81	0,78	0,78	0,87
SH	2,11	2,01	1,91	1,90	2,21
Propiedades químicas del suelo					
MO	5,65	8,03	9,36	6,96	7,37
N	0,28	0,40	0,47	0,35	0,37
P	2,92	13,40	17,90	9,17	8,94
CIC	2,40	2,30	2,43	1,87	1,25
Al	6,55	7,70	9,00	7,60	2,55
SAI	73,18	77,00	78,74	80,25	53,13

4.5.6 Relación Entre la Producción y Descomposición de Hojarasca con las Variables Florísticas y Estructurales del Bosque, Precipitación y Humedad del Suelo

Se realizó un análisis exploratorio de relaciones entre la producción fina, producción de hojas (kg/ha) y descomposición de la hojarasca (%) para cada uno de los transectos con las variables estructurales: DAP, H, AC, Densi y Bio, variables de diversidad: CM, M, Sim y SH, y propiedades químicas del suelo: Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fósforo (P), CIC, Al y Sal; estas variables se catalogaron como estáticas en el tiempo ya que solo se obtuvo un dato de las mismas para cada transecto. También, se correlacionaron con las variables cambiantes en el tiempo, precipitación, precipitación interna y humedad gravimétrica. Así, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), con el objetivo de reducir el número de variables para facilitar y mejorar la interpretación de los datos sin perder información, ya que se crean nuevas variables (componentes principales) que son una combinación lineal de las variables que componen a un grupo; así, el valor (proporción) y signo que se obtengan de cada variable puede ayudar a determinar la manera en que esta influye en el componente (Irimia et al., 2016 y López de la Maza et al., 2019). Luego de determinar las influencias con el APC, se realizaron correlaciones por medio de los Coeficientes de Pearson. Este coeficiente puede tomar valores entre -1 y 1, indicando que existe una asociación matemática lineal perfecta (positiva o negativa) entre las dos variables, o correlaciones iguales a 0 que implican ausencia de asociación (Álvarez, 2011). Su fórmula es la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{N}$$

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum X^2}{N} - \bar{X}}$$

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum Y^2}{N} - \bar{Y}}$$

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \bar{XY}}{S_X S_Y}$$

Donde:

X = la variable independiente

Y = la variable dependiente

N = el número total de datos de cada variable

S_X y S_Y = desviación estándar de las respectivas variables

r_{xy} = coeficiente de correlación lineal de Pearson

Para comprobar que las diferencias entre la producción promedio en kg/ha de las fracciones (hojas, frutos y semillas, inflorescencias, ramas y miscelánea) eran significativas, se determinó la distribución de los datos y la homogeneidad de la varianza. Posteriormente, se aplicaron pruebas estadísticas para identificar estas diferencias mediante los siguientes tratamientos (Periodos de tiempo), que permitieran garantizar la variabilidad de los datos en el tiempo de estudio:

- **Periodo 1:** Diciembre-Enero
- **Periodo 2:** Febrero-Marzo
- **Periodo 3:** Abril-Mayo

- **Periodo 4:** Jun-jul
- **Periodo 5:** Agosto-Septiembre-Octubre

4.5.7 Pruebas Estadísticas para la Solvencia de los Modelos de Regresión Lineal

En base a las pruebas estadísticas descritas anteriormente, se plantearon dos modelos de regresión lineal simple para predecir la descomposición y la producción de hojas para el área de estudio. Para la consistencia de los modelos se aplicaron los siguientes supuestos estadísticos:

- **Shapiro-Wilk normality test**

Se utiliza para muestras menores a 50 datos, su fundamento estadístico está basado en calcular la media y la varianza muestral, basándose en obtener un valor (*P-Value*) que permita interpretar una distribución normal de los datos, con ello se presentan las siguientes hipótesis (Flores y Flores, 2021):

$P\ Value > 0,05$, se acepta la hipótesis nula (H_0), lo que indica una distribución normal de los datos.

$P\ Value < 0,05$, se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que indica que los datos no presentan distribución normal

- **Breusch-Pagan test**

Prueba la homocedasticidad de la varianza, es decir si la variabilidad de los errores en una regresión lineal es constante. En esta prueba se plantea como H_0 que las varianzas son iguales y como H_a que las varianzas son diferentes; así, el *P-Value* debe ser $> 0,05$ para aprobar la H_0 ; para ello se aplica la prueba estadística de Breusch-Pagan, la cual se intercambia como una prueba de

la Ji al cuadrado. En esta prueba la hipótesis nula (H_0) indica que las variancias son iguales, mientras que la hipótesis alterna (H_a) indica que las varianzas son distintas (Flores y Flores, 2021)

- **Prueba de linealidad e independencia**

La linealidad se utiliza para determinar que la relación entre las variables sea lineal; en cuanto a la independencia, mide que las variables explicativas sean independientes entre sí (Baños y Álvarez, 2019). Para la medición de la independencia se usó Durbin-Watson test, la cual plantea que si $P\text{-Value} > 0,05$ se acepta la H_0 , lo que indica que no existe relación entre los residuos de los coeficientes de la regresión lineal; por el contrario, si $P\text{-Value} < 0,05$, se rechaza H_0 y se acepta H_a , que indica que los residuos están auto correlacionados (Uyanto, 2020)

5 Resultados

5.1 Producción Fina y Descomposición de Hojarasca

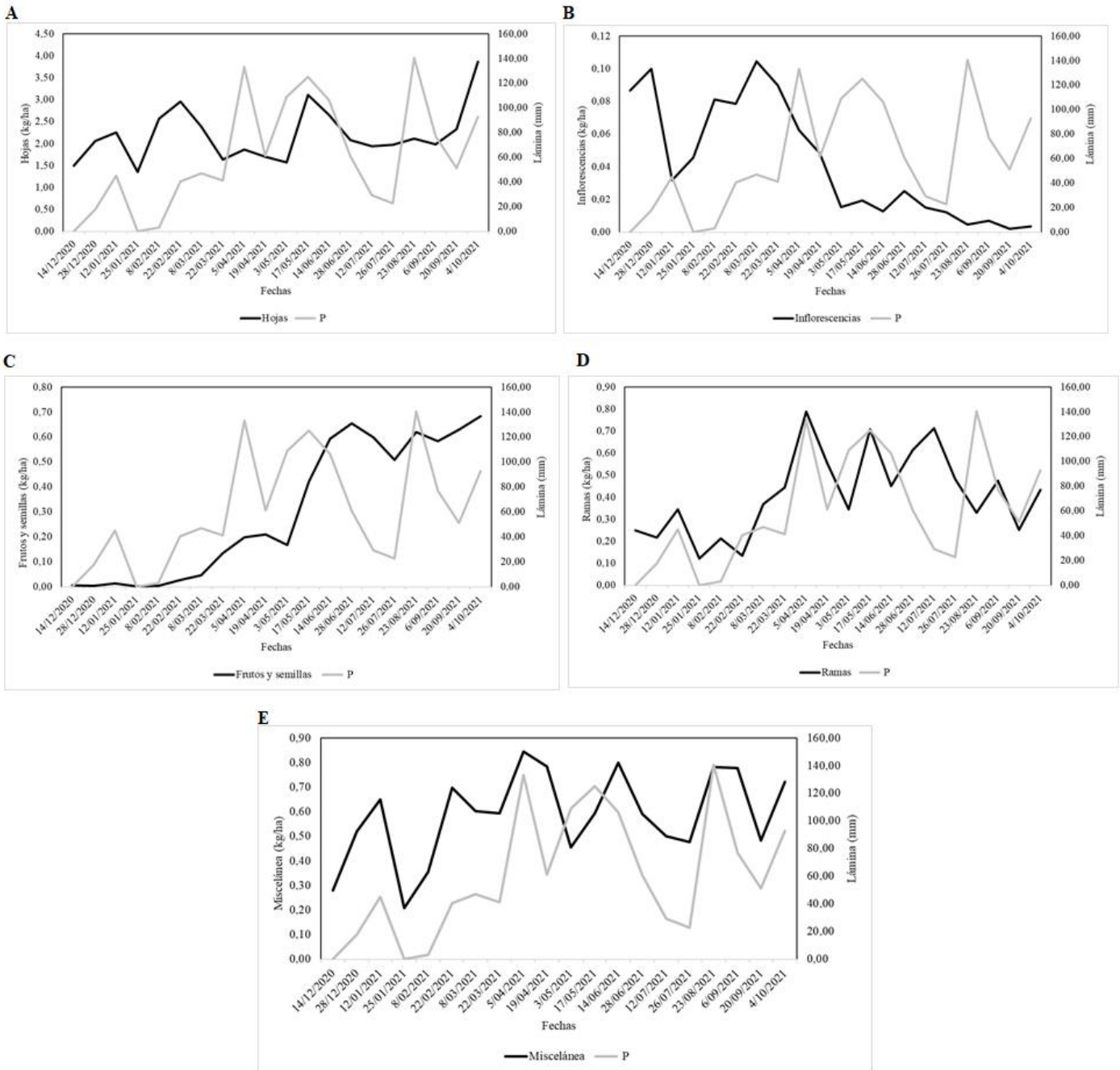
5.1.1 *Producción Fina Total, por Fracciones y su Variabilidad con la Precipitación Incidente*

La producción de hojarasca fina total, fue de 4780 kg/ha/año de los cuales las fracciones más representativas fueron: hojas con 2886,88 kg/ha/año (60,39%), seguido de la miscelánea con 801,54 kg/ha/año (16,77%), ramas con 596,44 kg/ha (12,48%), frutos y semillas 441,99 kg/ha (9,25%) y, finalmente, inflorescencias con 53,20 kg/ha/año (1,11%).

En la variabilidad de la producción por fracciones, los valores más altos para las hojas se encontraron a finales del mes de mayo (17/05/2021) con $3,10 \pm 1,26$ kg/ha y en octubre con $3,86 \pm 1,52$ kg/ha; para las inflorescencias las mayores producciones fueron para finales del mes de diciembre (28/12/2020) y a inicios de marzo (8/03/2021) con $0,10 \pm 0,10$ kg/ha, en cuanto a los frutos se presentaron picos de producción a finales del mes de junio (28/06/2021) y principios del mes de octubre (4/10/2021) con $0,65 \pm 0,73$ kg/ha y $0,68 \pm 0,82$ kg/ha, respectivamente. En relación a las ramas, la mayor producción se registró a principios del mes de abril (5/04/2021) con $0,79 \pm 0,99$ kg/ha, finalmente, la miscelánea no presentó una variabilidad marcada en su producción a través del tiempo. Se encuentra que las fracciones hojas, ramas y miscelánea muestran un comportamiento similar a la variabilidad de la precipitación, en contraste a las inflorescencias que disminuyen en su producción a medida que la precipitación aumenta, mientras que la producción de frutos y semillas se ve favorecida por dicha variable. También, se logra apreciar un comportamiento particular en la producción de frutos, semillas e inflorescencias, al identificarse que en los cinco primeros meses de medición hay presencia de inflorescencias, mientras que de frutos y semillas no se obtuvieron datos; esta tendencia se invierte en los siguientes meses (Figura 3).

Figura 3

Variabilidad en el tiempo de la producción fina de hojarasca por fracciones (kg/ha) y de la precipitación (mm): A. Hojas B. Inflorescencias C. Frutos y semillas D. Ramas E. Miscelánea.



5.1.2 *Comportamiento de la Producción Fina y Descomposición de Hojarasca con la Humedad Gravimétrica, Precipitación Interna e Incidente*

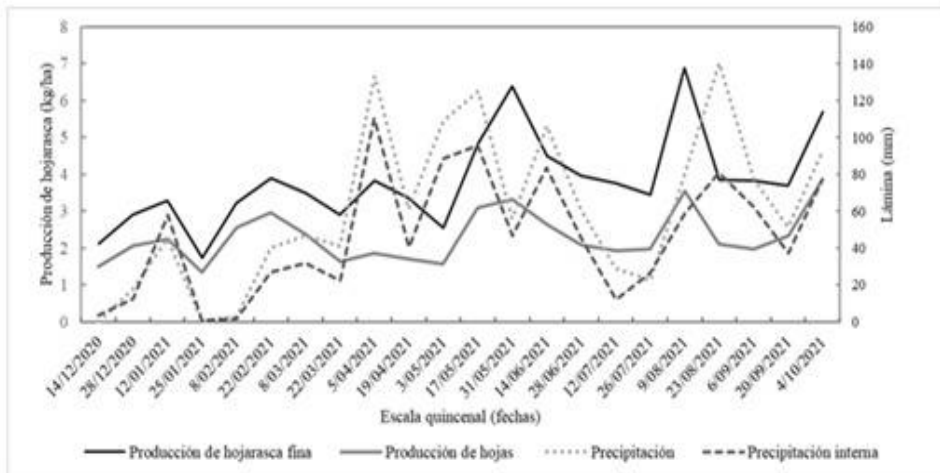
En la Figura 4A, se observa un patrón de aumento de la producción fina y de la producción de hojas en el tiempo, que coincide en general con los picos de precipitación registrados en la zona de estudio. Los mayores valores de producción de hojarasca fina se presentaron para finales del mes de mayo (31/05/2021) con $6,39 \pm 2,46$ kg/ha e inicios del mes de agosto (09/08/2021) con $6,89 \pm 2,43$ kg/ha. En cuanto a la precipitación incidente, los valores más altos se obtuvieron en el mes de abril (5/04/2021), mayo (17/05/2021) y agosto (23/08/2021) con $133,43 \pm 4,75$ mm, $125,22 \pm 5,37$ mm y $140,32 \pm 1,01$ mm, respectivamente.

Por otra parte, se identificó que la variabilidad de la precipitación incidente e interna, no presentó una tendencia similar al comportamiento de la descomposición (Figura 4B); en contraste a lo evidenciado con la humedad gravimétrica del suelo, en donde se observa un aumento considerable en relación a la pérdida de masa. Además, se encontró que en 195 días de medición hubo una descomposición del 25% al 30% para las hojas de roble en relación a la masa inicial (10 g). En el general, se registraron valores de humedad gravimétrica entre el 60% y 70% para el bosque (Figura 4C).

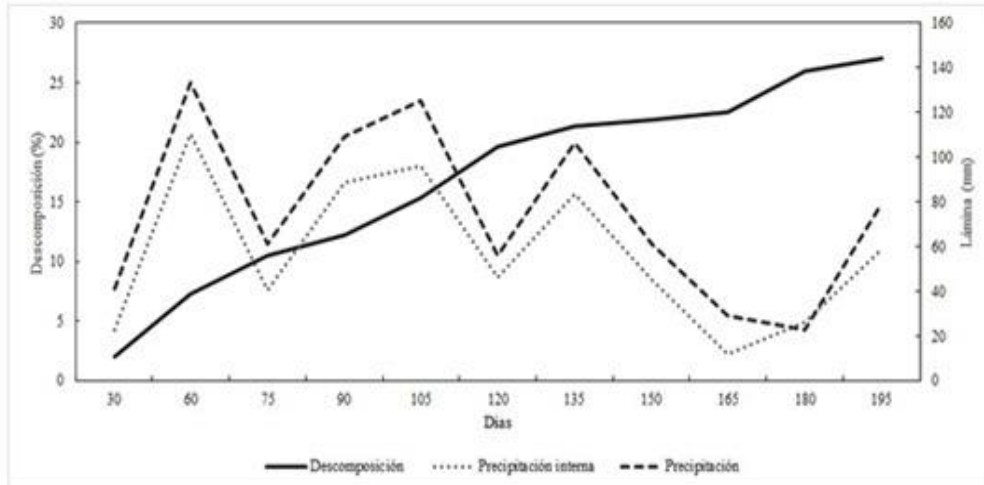
Figura 4

A. Variabilidad en el tiempo de la producción fina, producción de hojas, precipitación incidente y precipitación interna. B. Variabilidad en el tiempo de la descomposición, precipitación incidente y precipitación interna C. Variabilidad en el tiempo de la descomposición y la humedad gravimétrica del suelo

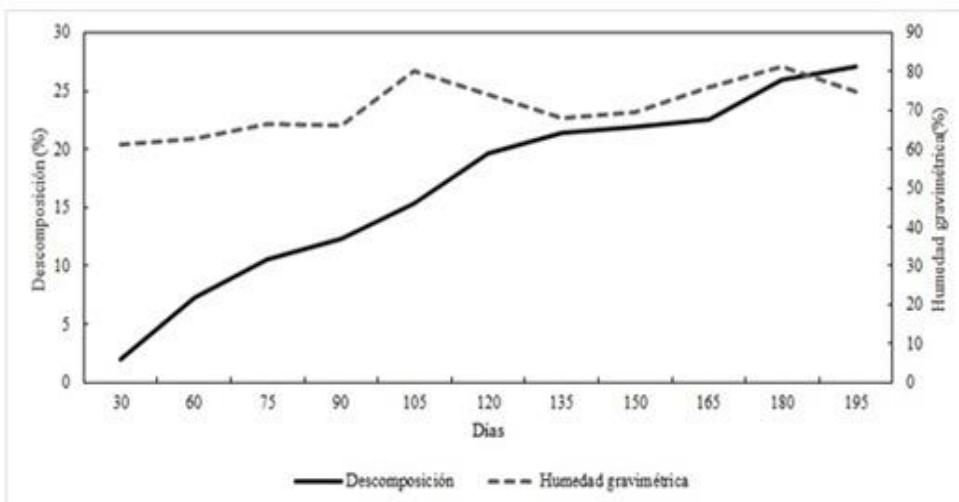
A



B



C



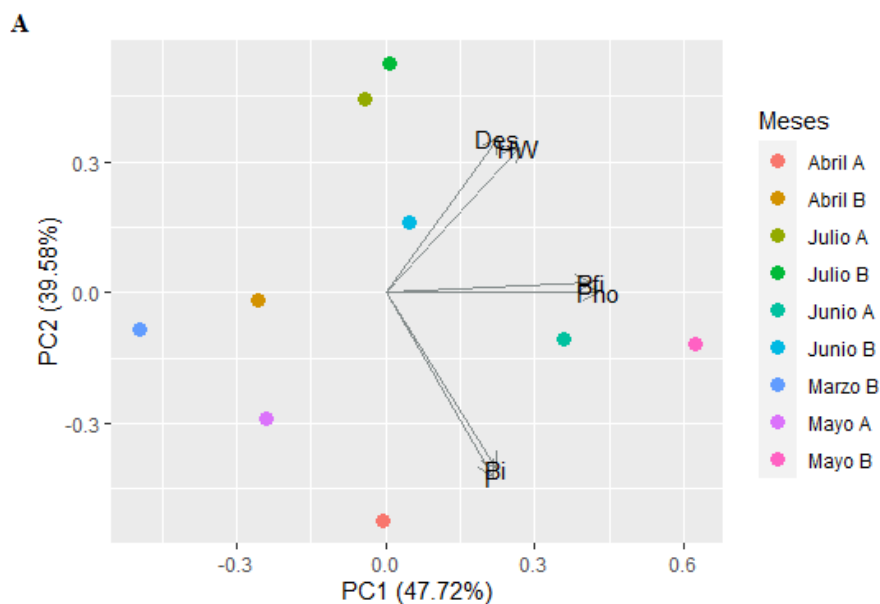
5.2 Relación de la Producción y Descomposición de Hojarasca con la Humedad Gravimétrica, Precipitación Interna e Incidente

En la Figura 5A, se presenta el análisis de componentes principales para las variables temporales, en donde, se encontró que el componente principal uno (PC1) y dos (PC2) representó el 47,72% y 39,58% de la varianza de los datos. Con ello, se identificó que el PC1 explica de mejor manera la producción fina de hojarasca y la producción de hojas, lo que deduce la influencia entre estas, mientras, el PC2 sustenta a las variables precipitación interna e incidente, descomposición y humedad gravimétrica del suelo. Se evidenció la relación entre la producción fina con la precipitación y descomposición con la humedad gravimétrica. La primera medición de junio (Junio A) presentó una influencia con respecto a producción fina y la producción de hojas y la segunda medición (Junio B) con descomposición y humedad gravimétrica; lo mismo sucede con la primera medición de abril (Abril A) que incide con respecto a la precipitación interna e incidente.

El comportamiento de la producción fina y la precipitación se puede sustentar con el coeficiente de Correlación de Pearson, que indicó una relación moderada y significativa con un valor de 0,6 ($P\text{-Value}=0,006$). Además, la producción de hojas registró una correlación alta con la producción fina con un valor de 0,84 ($P\text{-Value}=2,4 \times 10^{-6}$). Por otro lado, la descomposición y la humedad gravimétrica, presentaron correlaciones altas de 0,75 ($P\text{-Value}=0,006$) (Figura 5B).

Figura 5

A. Análisis de componentes principales para las variables producción fina de hojarasca, producción de hojas, descomposición, precipitación incidente, precipitación interna y humedad gravimétrica para cada una de las observaciones. B. Coeficientes de Pearson para las variables temporales (con P-Value entre paréntesis)



B

Variables	Pho	Pfi	Des	P	HW
Pho	1				
Pfi	0,84 (2,4x10⁻⁶)	1			
Des	0,37 (0,31)	0,42 (0,24)	1		
P	0,29 (0,2)	0,6 (0,006)	-0,30 (0,41)	1	
HW	0,54 (0,13)	0,47 (0,19)	0,75 (0,01)	-0,24 (0,52)	1

Nota: En negrilla, se presentan las correlaciones significativas y con resaltado gris, las correlaciones altas, pero no con $P \text{ Value} \geq 0,05$. Pho: producción de hojas (kg/ha), Pfi: producción fina de hojarasca (kg/ha), Des: descomposición de hojarasca (%), P: precipitación incidente (mm), HW: humedad gravimétrica del suelo (%)

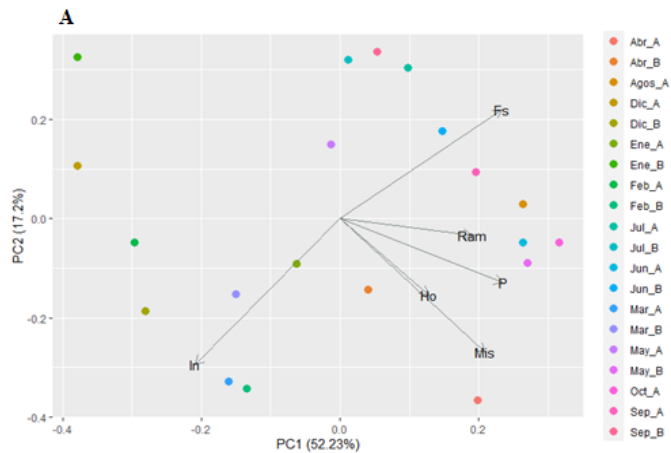
5.2.1 Relación e Influencia de la Producción de Fracciones con la Precipitación Incidente

En la Figura 6A, se presenta el ACP para la producción de fracciones y la precipitación incidente en cada medición realizada; se encontró que los componentes principales PC1 Y PC2 explicaron el 69,43% de la varianza de todos los datos, se logró apreciar que hay una relación entre la precipitación con las fracciones: hojas, miscelánea, ramas y, frutos y semillas, a diferencia de las inflorescencias que presentan un comportamiento contrario principalmente con los frutos y

semillas. Además, se identificó que las mediciones realizadas en el mes de julio, septiembre, agosto, mayo, octubre y abril influyen en la producción registrada para las fracciones, a excepción, de las inflorescencias. Esto se confirma con los valores de correlación de Pearson que mostraron relaciones significativas entre: la precipitación incidente con frutos y semillas, ramas y miscelánea; con valores de 0,48 (*P-Value*: 0,031), 0,52 (*P-Value*: 0,020) y 0,71 (*P-Value*: 0,001), respectivamente, inverso a lo encontrado con las inflorescencias que presentó una correlación con la precipitación incidente de -0,49 (*P-Value*: 0,026) y con los frutos y semillas de -0,82 (*P-Value* $9,14 \times 10^{-6}$) (Figura 6B).

Figura 6

A. Análisis de componentes principales para las fracciones y la precipitación incidente. B. Correlaciones de Pearson encontradas entre las fracciones (kg/ha) y la precipitación (mm)



B

Variables	Hojas	Inflorescencias	Frutos - semillas	Ramas	Miscelánea	Precipitación
Hojas	-					
Inflorescencias	-	-				
Frutos-semillas	-	-0,82(9,14x10 ⁻⁶)	-			
Ramas	-	-	0,48(0,032)	-		
Miscelánea	-	-	-	0,48(0,033)	-	
Precipitación	-	-0,49(0,026)	0,48(0,031)	0,52(0,020)	0,71(0,001)	-

Nota: En negrilla, se presentan las correlaciones significativas y con resaltado gris

5.2.2 Diferencias Significativas de las Fracciones de Hojarasca en los Periodos de Medición

Se determinó, que los datos registrados para la producción de las fracciones no presentaron una distribución normal, debido a los resultados de la prueba Shapiro-Wilk; también, por medio de la prueba de Leven se comprobó que no hay homogeneidad en la varianza de los datos, a excepción de las hojas que arrojó un $P\text{-Value}= 0,720$. Así, se establece que las fracciones son variables no paramétricas (Tabla 3A). En consecuencia, mediante la prueba de Kruskal-Wallis se determinó que la fracción frutos y semillas presentaron diferencias en la productividad para algunos de los periodos con un $P\text{-Value}=0,014$ (Tabla 3B). La prueba de Wilcoxon indicó que hay diferencias significativas para la fracción entre los cinco periodos, a excepción de: Abril-Mayo con Junio-Julio y Agosto-septiembre-Octubre con Junio-Julio con $P\text{-Value}= 0,089$ y $P\text{-Value}= 0,207$, respectivamente (Tabla 3C).

Tabla 3

A. P-Value para los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza para cada una de las fracciones. B. Determinación de P-Value con la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. C. Diferencias significativas entre los periodos con la prueba Wilcoxon

A

Fracción	Prueba	P-Value
Hojas	Shapiro-Wilk	0,042
Hojas	Levene	0,720
Inflorescencias	Shapiro-Wilk	2,2x10 ⁻¹⁵
Inflorescencias	Levene	4,16x10 ⁻¹³
Frutos y semillas	Shapiro-Wilk	2,2x10 ⁻¹⁶
Frutos y semillas	Levene	2,2x10 ⁻¹⁶
Ramas	Shapiro-Wilk	1,32x10 ⁻¹⁵
Ramas	Levene	0,001
Miscelanea	Shapiro-Wilk	4,08x10 ⁻⁹
Miscelanea	Levene	0,002

B

Fracción	Prueba	P-Value
Hojas	Kruskal-Wallis	0,452
Inflorescencias	Kruskal-Wallis	0,187
Frutos y semillas	Kruskal-Wallis	0,014*
Ramas	Kruskal-Wallis	0,175
Miscelanea	Kruskal-Wallis	0,363

C

Periodo	Abr-My	Agto-Sept-Oct	Dic-En	Febr-Mzo
Agto-Sept-Oct	0,003*	-	-	-
Dic-En	1,5x10^{-15*}	2,9x10^{-16*}	-	-
Febr-Mzo	2,3x10^{-8*}	6,0x10^{-12*}	3,33x10^{-4*}	-
Jun-jul	0,089	0,207	4,05x10^{-7*}	1,8x10^{-10*}

Nota: Con asterisco (*) y negrilla se presentan los *P-Values* significativos para cada una de las pruebas

5.3 Relación entre la Producción Fina, Producción de Hojas y Descomposición con la Estructura, Diversidad del Bosque y Propiedades Químicas del Suelo.

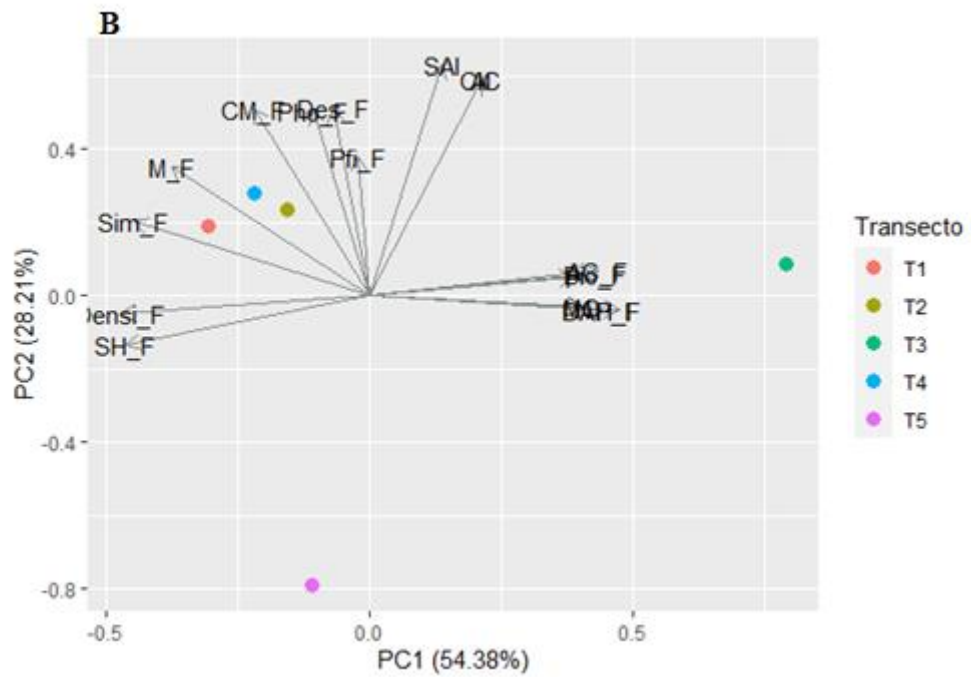
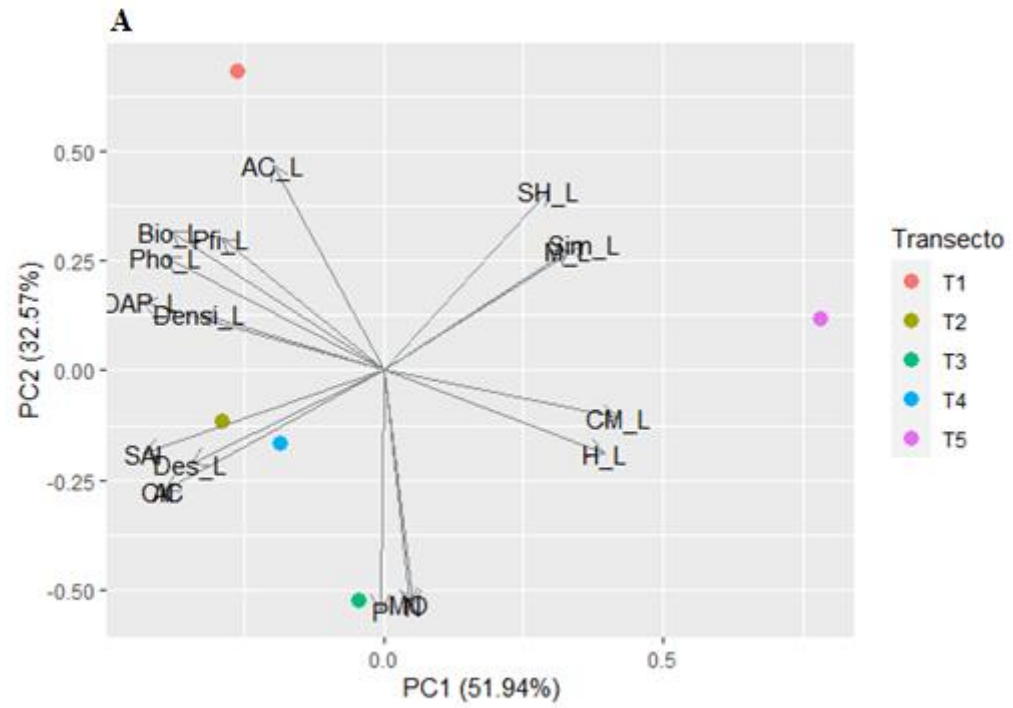
El análisis de componentes principales en la categoría diamétrica latizal, mostró que los PC1 y PC2 representan el 82,73% de la varianza de los datos, con lo cual se logra observar que con respecto a las variables producción de hojas y producción fina hay una relación con: DAP, H, AC, Densi, Bio, SAI y CM. Para el caso de la descomposición, se presentaron relaciones con: DAP, Densi, SAI, CM, M, Sim y SH. Se identificó que el T2 y T4 influyen en la descomposición,

CIC y SAI; mientras que al igual que T1 inciden en las variables de productividad y estructura (Figura 7A).

En la categoría fustales PC1 y PC2 justifican el 54,38% y 28,21% de la varianza de los datos, en donde se observó una relación entre producción fina, producción de hojas y descomposición con SAI y CM, además, se determina que hay una influencia de T2 y T4 con estas variables y de T3 con la mayoría de las variables estructurales y con Bio (Figura 7B).

Figura 7

Análisis de componentes principales, de la producción fina de hojarasca, producción de hojas, descomposición con variables estructurales, diversidad y propiedades químicas del suelo en los respectivos transectos. A. Análisis de componentes principales en latizales B. Análisis de componentes principales en fustales



Nota: Pho: producción de hojas, Pfi: producción fina de hojarasca, Des: descomposición de hojarasca Densi: densidad de individuos, H: altura total, BioPromedio: Biomasa, SAl: Saturación de aluminio, CM: Cociente de mezcla, M: Índice de diversidad de Margalef, SH: Índice de diversidad de Shannon

En las correlaciones de la producción de hojas, producción fina y descomposición con las variables estructurales, diversidad y propiedades químicas del suelo, se establecieron relaciones significativas solo para la categoría de tamaño latizal, entre la producción de hojas con H y Bio con valores altos de -0,98 (*P-Value* = 0,001) y 0,97 (*P-Value* = 0,006), respectivamente. Con la descomposición, se resaltan correlaciones con las variables M y CM, con valores de -0,85 (*P-Value* = 0,06) y -0,81 (*P-Value* = 0,08), respectivamente, que, aunque no presenten una confiabilidad mayor o igual al 95%, si representan una posible relación en el comportamiento de estas variables (Tabla 4).

Tabla 4

Coefficientes de Pearson (con P-Value en paréntesis) de la producción de hojas, producción fina de hojarasca y descomposición, con las variables estructurales, diversidad y propiedades químicas del suelo

Correlaciones de Pearson						
Variables	Latizales			Fustales		
	Pho	Pfi	Des	Pho	Pfi	Des
H	-0,98 (0,001)	-0,8 (0,1)	-	-	-	-
Densi	0,69 (0,19)	-	0,78 (0,11)	-	-	-
Bio	0,97(0,006)	0,69 (0,19)	-	-	-	-
Sal	0,6 (0,28)	-	0,76 (0,12)	0,60 (0,28)	-	0,76 (0,12)
CM	-0,78 (0,11)	-	-0,81(0,08)	-	-	0,74 (0,14)
M	-	-	-0,85 (0,06)	-	-	0,61 (0,27)
SH	-	-	-0,68 (0,19)	-	-	-

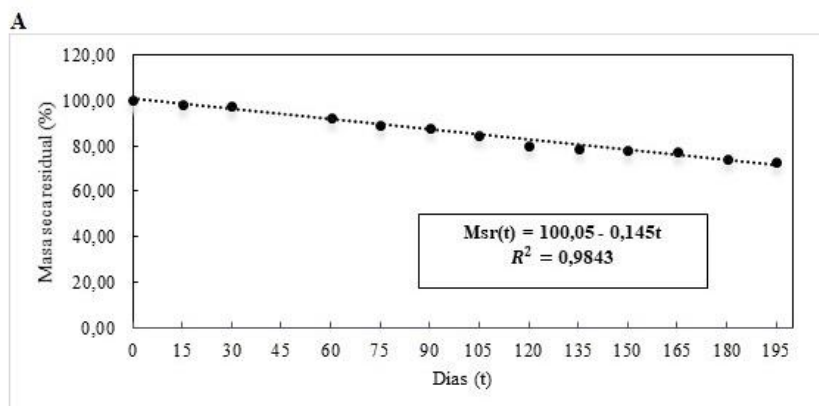
Nota: En negrilla, se presentan las correlaciones significativas y con resaltado en gris, las correlaciones altas, pero no significativas. Abreviaturas utilizadas: Pfi: Producción fina de hojarasca (kg/ha), Pho: Producción de hojas (kg/ha), Des: Descomposición (%), Densi: densidad de individuos, H: altura total (m), BioPromedio: Biomasa (ton/ha), SA1: Saturación de aluminio (%), CM: Cociente de mezcla, M: Índice de diversidad de Margalef, SH: Índice de diversidad de Shannon

5.4 Modelamiento para la Descomposición y Producción Fina de Hojarasca

En la Figura 8A, se presenta la variabilidad en el tiempo de la masa seca residual, en la cual se observa una tendencia de disminución para los días de medición. Además, se logró establecer que, para 195 días, se obtuvo una masa seca residual del 72% a nivel del bosque. Por otra parte, se logró ajustar un modelo de regresión lineal: $Msr(t)=100,05 - 0,145t$, con un **R ajustado** de 0,9843 y $P\text{-Value}= 0,001$, con el que se determinó que para los 10 meses de medición (300 días) se alcanzaría una masa seca residual del 56,01% (2676,83 kg/ha), respecto a una masa inicial correspondiente a la producción fina total registrada en el robledal (4780,05 kg/ha). En la Figura 8B, se demuestra que el modelo cumplió con los supuestos de normalidad, homogeneidad, linealidad e independencia, con lo que sustenta la solidez del modelamiento.

Figura 8

Variabilidad en el tiempo de la masa seca residual, para muestras de hojarasca.



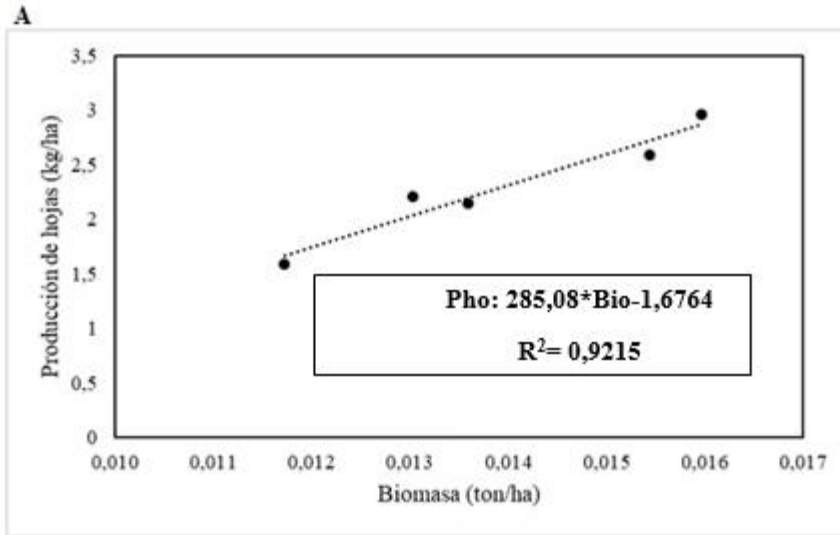
B

Supuesto	Prueba	P-Value
Normalidad	Shapiro-Wilk	0,1602
Homogeneidad	Breusch-Pagan	0,3676
Linealidad	Media de los errores	$3,52 \times 10^{-17}$
Independencia	Durbin-Watson	0,0512

En la Figura 9A, se presenta el modelo de regresión lineal obtenido con la producción de hojas y la biomasa en la categoría diamétrica latizal: **Pho: 285,08*Bio-1,6764** con el que se determina la producción de la fracción hojas en kg/ha con un *P-Value*=0,006173 y un R ajustado de 0,9215. Los *P-Values* para los supuestos indican que el modelo es consistente (Figura 9B).

Figura 9

Modelo de regresión lineal para el cálculo de la producción de hojas en función de la biomasa en la categoría diamétrica latizal.



B

Supuesto	Prueba	P-Value
Normalidad	Shapiro-Wilk	0,721
Homogeneidad	Breusch-Pagan	0,995
Linealidad	Media de los errores	-1,38X10 ⁻¹⁸
Independencia	Durbin-Watson	0,895

Nota: Biomasa utilizada para el modelo: BioPromedio de los individuos para cada uno de los transectos.

6 Discusión

6.1 Producción Fina de Hojarasca

La hojarasca acumulada en la superficie forestal, producida por los individuos arbóreos y sujeta a la descomposición por parte de los hongos, bacterias, micro y macro fauna del suelo, es la principal fuente de materia orgánica y nutrientes para las plantas, además, de ser la impulsora del ciclo de nutrientes en los ecosistemas forestales e importante por el aporte de C al suelo; por lo tanto, la hojarasca ayuda a mantener la regulación de servicios ecosistémicos asociados con la productividad de los bosques, la captura de gases de efecto invernadero y la mitigación del cambio climático ((Preusser et al., 2021).

La producción fina de hojarasca total encontrada en la zona de estudio fue de 4780,05 kg/ha/año, con una participación del 60,39% en la fracción hojas, resultado similar a lo reportado por Fu et al. (2017), quienes encontraron valores del 60% al 80%; valores que ratifican su importancia en la funcionalidad del ecosistema (Ahirwal et al., 2021). En relación a la producción fina total, esta es menor en comparación a otros estudios como Murcia (2019), que registró una producción de 7460 kg/ha/año en un bosque nativo ubicado a 3125 m s. n. m.; Moreno et al. (2018), encontraron en bosques montanos una producción fina total de 5900 kg/ha/año donde determinaron que las hojas fueron el componente con mayor participación con un 74,8%. Zapata et al. (2007) reportaron una producción de 7900 kg/ha/año en un robledal con un aporte de la fracción de hojas del 69%. Con resultados semejantes a este estudio, Cizungu et al. (2014), encontraron una producción fina de 4175 kg/ha/año para un bosque tropical montano importante a nivel ecológico en África Central, con un aporte de las hojas del 58%. En contraste, Röderstein et al. (2005), hallaron un valor inferior de 2630 kg/ha/año en un bosque de alta montaña ubicado en Ecuador.

A diferencia de los estudios realizados en bosques tropicales de menor rango altitudinal, la producción fina encontrada es menor, debido a que los bosques de montaña tienen tasas fotosintéticas menores por causa de una radiación solar menos intensa y también, una toma de nutrientes limitada por una baja tasa de transpiración, suelos generalmente ácidos y una lenta tasa de descomposición y mineralización de nutrientes (Guariguata y Kattan, 2002)

6.1.1 *Producción Fina de hojarasca y Contribución por Fracciones:*

Se identificó un comportamiento en la producción de frutos y semillas e inflorescencias, en el cual, se evidenció la presencia de inflorescencias principalmente en los meses de diciembre a marzo con un pico de producción en marzo, esto difiere con lo establecido por Pérez et al. (2013), que indican que los picos de producción para esta fracción en un robledal se registraron en el mes de mayo. Por otro parte, la producción de frutos y semillas entre finales de marzo hasta mediados de octubre (con pico en el mes de agosto), si coincide con éste estudio (desde finales de marzo hasta mediados de septiembre, con un pico en junio). Lo anterior, también se apoya con la fenología del *Q. humboldtii*, con presencia de inflorescencias de diciembre a marzo, y de frutos de marzo a noviembre, con pico en agosto (Gómez, 2018).

La tendencia en la producción de las fracciones de acuerdo con los valores de Correlación de Pearson, mostraron una relación con la precipitación, ya que, las mediciones donde se registraron mayores valores de producción en inflorescencias, corresponden a los meses de temporadas secas con bajas precipitaciones. Esto, puede deberse a que esta condición favorece la actividad y la función de los polinizadores dentro del bosque. Además, las inflorescencias del *Q. humboldti* se caracterizan por ser frágiles y estar dispuestas en amentos masculinos de 8 a 15 cm de largo y femeninos de 1 cm, lo que facilita su polinización principalmente anemófila, característica de solo el 5% de las especies arbóreas del neotrópico (Van der Kool y Ollerton,

2020) y eventos de alta precipitación podrían dificultar el transporte del polen por las corrientes eólicas.

En los meses con mayor precipitación se obtuvieron altas producciones en las demás fracciones, especialmente en frutos y semillas, ya que los procesos de fructificación están relacionados con las necesidades fisiológicas de las plantas para dicho proceso, principalmente la radiación solar, disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo (González y Parrado, 2010). Lo anterior, se constata con lo planteado por Muñoz (2017), quien establece que la fenología de las especies de los bosques montanos tropicales está muy relacionada con la radiación y la precipitación.

Las diferencias significativas de la producción de frutos y semillas identificadas en cada uno de los periodos pueden deberse a los procesos de maduración del fruto en especial de la especie *Q. humboldti*, que tarda de seis a siete meses y está condicionado al pico de floración que se presenta en la zona de estudio. Así, se presentan los primeros frutos verdes dos meses después de la floración (Gómez, 2018), por lo que el peso seco registrado para las mediciones está ligado al crecimiento del fruto a través del tiempo. Lo anterior, se constata en la Figura 3, donde se evidenció que la producción de frutos y semillas fue aproximadamente cuatro veces mayor, dos meses después del pico de inflorescencias (8/03/2021).

6.2 Relación de la Producción de Hojarasca Fina, Descomposición y Variables Temporales

Los requerimientos fisiológicos de las especies confirman que las plantas presentan la defoliación en las épocas de menor precipitación, para evitar la pérdida de agua por transpiración y sobrevivir en condiciones de estrés hídrico, es por esto, que los picos de producción fina son mayores en los periodos de baja precipitación (Morffi et al., 2020). A diferencia, para este estudio,

se evidenció una correlación moderada y significativa de 0,6 entre la producción fina y la precipitación incidente ($P\text{-Value}= 0,006$) lo que podría indicar una tendencia al aumento entre estas variables. Los eventos de alta precipitación pueden estar acompañados de vientos de gran velocidad que repercuten en un contacto con las fracciones, generando un desprendimiento de manera anticipada; también, dicho desprendimiento podría estar relacionado con el impacto físico que genera las gotas de lluvia con el dosel, lo que de cierta manera sustenta la producción encontrada para el periodo de medición (Zapata et al., 2007). De cumplirse las proyecciones de cambio climático, de aumento en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos como las temporadas húmedas y secas, habría impactos negativos en los ecosistemas forestales derivados en cambios de su dinámica natural, afectando a su vez el suministro de bienes y servicios ambientales a la sociedad. Así, se infiere que posibles eventos de precipitación con mayor intensidad y la presencia de vientos, aumentarían la defoliación anticipada en los ecosistemas altoandinos, alterando los procesos fisiológicos de las plantas y la eficiencia en el ciclaje de nutrientes (Thomas et al., 2021).

En cuanto a la descomposición, esta variable obtuvo una correlación alta y significativa de 0,75 ($P\text{-Value}=0,001$) con la humedad gravimétrica, esto quiere decir que existe una relación directa entre el comportamiento de estas variables. Según Zhang et al. (2014), la disminución en la humedad del suelo, debido a las bajas precipitaciones y la constante evapotranspiración de las comunidad vegetal, generan una disminución en la actividad microbiana y, por ende, una menor descomposición de los detritos orgánicos, lo que de cierta manera se contrasta en este estudio, ya que se evidenció que la humedad del suelo a lo largo de las mediciones mantuvo valores entre 60% y 80%, mientras la pérdida de masa fue generalmente constante de una medición a otra. Así se deduce, la influencia de la humedad gravimétrica en la transformación de materia orgánica por

parte de los microorganismos. Sin embargo, hay otros factores importantes en el entendimiento de la descomposición, como son: la macrofauna, la temperatura, la composición química de las hojas, y la disponibilidad de nutrientes (Xiong et al., 2013).

En primera instancia, se esperaba una alta relación entre la humedad gravimétrica y la precipitación, no obstante, los resultados obtenidos indicaron una relación inversa y débil. Son varios los factores que intervienen en la relación entre estas variables, como la intensidad y duración de la lluvia, el tipo y grosor de la capa de hojarasca (Du et al., 2019). En el área de estudio, se presentó una concordancia con estos factores, especialmente con el amplio grosor de la capa de hojarasca, que podría impedir la libre circulación del agua entre la hojarasca y el suelo mineral.

En el modelo obtenido para el cálculo de la masa seca residual $M_{sr}(t)=100,05 - 0,145t$, en el que se observa una tendencia de disminución para los días de medición, se aprecia una pendiente negativa baja (-0,145) que indica que la hojarasca presente en el bosque es muy persistente ante la descomposición, es decir, que los procesos de transformación de la materia orgánica podrían llegar a ser lentos (Smith y Smith, 2007). Por otra parte, la descomposición en el área de estudio podría estar influenciada por diferentes factores como la calidad de la capa de hojarasca, en donde, la relación C/N, C/P y la relación entre lignina y nutrientes tienen un fuerte impacto en este proceso, así, capas de hojarasca ricas en contenido de nutrientes pueden llegar a descomponerse más rápido en los primeros meses de medición (Xiong et al., 2013). De aquí, se deduce que la calidad de la capa de hojarasca del bosque en estudio ralentiza dicho proceso debido a la condición de los suelos presentes en bosques montañosos, con suelos jóvenes y poco desarrollados, típicamente limitados por P y N (Hodge y Fitter, 2010; Homeier et al., 2012). Según Marian et al. (2018), los procesos de descomposición disminuyen a medida que aumenta la altitud y con ello aumenta las reservas de carbono y materia orgánica en el suelo, y la presencia de biomasa de raíces en la capa orgánica,

esto debido a que las plantas en estos ecosistemas dependen principalmente de la disposición de nutrientes presentes en el horizonte O. Así, se puede resaltar que la importancia de los ecosistemas altoandinos soportando innumerables servicios de regulación, como el secuestro y almacenamiento de C, y la conservación y mantenimiento de la fertilidad del suelo, aspectos fundamentales en la mitigación del calentamiento global y en la conservación de la diversidad.

6.3 Relación entre la Producción y Descomposición de Hojarasca con la Diversidad y Estructura del Bosque

Se encontró una correlación alta y significativa entre la biomasa de latizales y la producción de hojas, esto quizás se debe a que los latizales o individuos del sotobosque cuentan con una mayor densidad en los transectos estudiados y su cercanía con las trampas instaladas debido a su baja altura, esto permite una mayor eficiencia en la captura de la hojarasca. Por ello, también se encontró una correlación negativa y significativa con la altura de los latizales, por lo que se infiere que esta eficiencia es favorecida por individuos de porte bajo, ya que, a mayor altura se puede presentar una menor captura en las trampas. Esto no indica que la producción de hojas esté estrechamente vinculada a los individuos del sotobosque, ya que la sobrevivencia de estos individuos exige un crecimiento lento y conservador, siendo útil disminuir la construcción de tejidos foliares. En el sotobosque, se presenta una menor densidad de flujo de fotones por la baja cantidad de luz que penetra la capa del dosel (reflejos solares), generando una tasa fotosintética más baja y captación de C mucho menor, en comparación con los individuos del dosel, que tienen tasas fotosintéticas más altas, mayor captación de C y, por ende, mayor biomasa área (Schulze et al., 2019). En este estudio, no se logró determinar qué individuos (árboles del dosel o del sotobosque) aportaron mayor proporción en la producción obtenida, por lo que posiblemente por la ubicación al azar de las trampas y a la altura a la que se encuentran del suelo, son los latizales

quienes podrían presentar mayor eficiencia en la deposición de las hojas en el área de captación. Como se demostró en este estudio, las hojas son el componente con mayor participación en la producción de hojarasca y se consideran una de las principales transferencias de C al suelo. Por esa razón, es importante determinar junto a la biomasa área, el comportamiento de estas variables para tener una mejor aproximación a la PPN y un conocimiento parcial de los flujos de C que se presentan en el ecosistema (Salas e Infante, 2006). Por lo anterior, el modelo de regresión lineal entre la biomasa y la producción de hojas, permitirá realizar un acercamiento de la captura de C reflejado en la producción de hojas.

De acuerdo a la relación encontrada entre la descomposición de hojarasca y los índices de diversidad para la categoría de tamaño latizal, hay una correlación negativa de esta variable con los índices de diversidad (principalmente con Margalef), lo que podría indicar que para a mayor diversidad menor descomposición, esto acorde a los datos obtenidos por transectos en donde se evidenció que, T5 y T1 presentaron la menor descomposición y registraron, en general, los mayores valores del índice de Margalef. Por el contrario, otros estudios han reportado que la mayor diversidad favorece una mayor descomposición, debido a que la heterogeneidad del ambiente, diversidad de microorganismos y la composición en la cama de hojarasca contribuyen a una mayor transformación de la materia orgánica (Xiogai et al., 2013). Aunque considerando en lugar de la diversidad, la riqueza, Madritch y Cardinale (2007), encontraron de manera similar a nuestros resultados, que el aumento de la riqueza de la hojarasca promovía menores tasas de descomposición, sugiriendo que, en el sitio de estudio, la dominancia de *Q. humboldtii* podría influenciar en dicho proceso. Esto, se relaciona con lo establecido por Oliveira et al. (2019), quienes proponen que la descomposición y los procesos del ecosistema están definidos por los rasgos funcionales de la especie dominante, como podría ocurrir aquí con *Q. humboldtii*, especie

que contribuye con la mayor biomasa e interviene en gran parte con los flujos de materia y energía del bosque.

7 Conclusiones y Recomendaciones

Los estudios de producción y descomposición de hojarasca son fundamentales para entender los procesos relacionados con la captación de C, ciclaje de nutrientes y conservación del recurso suelo, por esto es fundamental seguir planteando estudios e investigaciones que permitan dar un conocimiento claro de esta temática para formular estrategias de conservación y mantenimiento del ecosistema ante los escenarios que supone el cambio climático, y así, en compañía de la comunidad, rescatar el valor que tienen los bosques en la provincia de García Rovira y en el mundo como áreas naturales que aportan bienes y servicios diferentes a la madera .

La medición de la precipitación y la producción de hojarasca permitió establecer que las variables climáticas son factores que influyen en la productividad de los ecosistemas, es por esto que, sería indispensable ampliar las variables tenidas en cuenta como: humedad y temperatura del ambiente, y velocidad del viento. Si bien, es importante estudiar la producción de hojarasca de un

ecosistema, sería fundamental que para estudios futuros se logrará plantear una metodología que estimara la participación real de los individuos por categoría de tamaño con el objetivo de entender la dinámica y funcionalidad en cada estrato arbóreo.

Se determinó que la descomposición fue lenta y no se relacionó directamente con la precipitación; además, la estructura y diversidad según la revisión bibliográfica no fueron suficientes para concluir respecto a esta variable, es por esto, que se recomienda ampliar los factores que permitan explicar este proceso dentro del ecosistemas, entre ellos: composición química de la hoja, temperatura del suelo, la capa de hojarasca, la micro, meso y macrofauna, y también, ampliar el tiempo de una medición a otra ya que elementos recalcitrantes que podrían demorar más de siete meses en descomponerse. Así mismo, sería importante que se tenga en cuenta pruebas de laboratorio para nutrientes que permitan dar una claridad en la temática de ciclaje de nutriente en contraste a el tiempo de transformación de la materia orgánica.

Para finalizar, con este estudio de línea base, se espera que se puedan plantear estrategias que permitan un uso que incentive el desarrollo económico de las comunidades que conviven con estos bosques, como el posible aprovechamiento sostenible de la hojarasca para el cultivo de hongos, producción de fertilizantes y variedad de productos que puedan estar al alcance del mercado e incentivar el conocimiento y conservación del bosque.

Referencias bibliográficas

- Ahirwal, J., Saha, P., Nath, A., Nath, A. J., Deb, S., & Sahoo, U. K. (2021). Forests litter dynamics and environmental patterns in the Indian Himalayan region. *Forest Ecology and Management*, 499, 119612.
- Aldana, C., Gómez, M., y Hurtado, F. (2011). Regeneración natural del roble negro (*Colombobalanus excelsa*, Fagaceae) en dos poblaciones de la Cordillera Oriental de los Andes, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 64(2), 6175-6189.
- Álvarez, E., Duque, A., Cabrera, K., Navarrete, D., Yepes, A., Phillips, J., & García, M (IDEAM). 2010. Selección de modelos para la estimación precisa de la biomasa y del contenido de carbono de los bosques de Colombia. Informe Final. Proyecto Capacidad Institucional Técnica y Científica para Apoyar Proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación en Colombia. IDEAM, Fundación Natura y Gordon and Betty Moore Foundation. Bogotá, D.C. 10 pp
- Álvarez, R. (2011). Estudio de correlación de las variables significativas analizadas en el censo económico 2010. *Retos* 2. Julio/diciembre. Pp. 19-38.
- Alvis, J. (2009). Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias, grupo de Investigación TULL*. Universidad del Cauca. 7 (1), 2-8.
- Arenas, S. (1995). Dinámica de la hojarasca en un bosque nativo altoandino y un bosque de eucaliptos en la región de Monserrate, Colombia. En: MORA-O, L. y STURN, H (eds.). Estudios Ecológicos del Páramo y del Bosque Altoandino Cordillera Oriental de Colombia. Tomo II. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 6 Santa Fe de Bogotá. Colombia.

- Ávila, F., Ángel, S., & López, R. (2010). Diversidad y estructura de un robleal en la reserva biológica Cachalú, Encino (Santander- Colombia). *Revista Colombia Forestal*, 13(1), 30-87.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrece los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21 (1-2), 136-147.
- Baños, R. V., Torrado-Fonseca, M., & Alvarez, M. R. (2019). Anàlisi de regressió lineal múltiple amb SPSS: un exemple pràctic. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 12(2), 1-10.
- Bruijnzeel, L., Mulligan, M. & Scatena, F. (2011). Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, 25, 465–498.
- Cambio climático, la agricultura, y la seguridad alimentaria del CGIAR (CCAFS). (2013). Contenido de humedad del suelo. Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 2013.
- Castellanos, J., & León, J. (2011). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59 (1), 113-128.
- Cizungu, L., Staelens, J., Huygens, D., Walangululu, J., Muhindo, D., Van Cleemput, O., & Boeckx, P. (2014). Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and Eucalyptus plantation. *Forest Ecology and Management*, 326, 109-116.
- Dominguez y Silva. (2020).. (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Colombia.

- Du, J., Niu, J., Gao, Z., Chen, X., Zhang, L., Li, X., ... & Zhu, Z. (2019). Effects of rainfall intensity and slope on interception and precipitation partitioning by forest litter layer. *Catena*, 172, 711-718.
- Flores, C., y Flores, K. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. *Societas*, 23(2), 83-106.
- Flores, F., Fernández, J., Giménez, L., Leonhardt, E., y Bernardis, A. (2018). Carbonoretenido por la hojarasca y raíces en diferentes usos del suelo en la Región del Chaco semiárido. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(2), 165-172.
- Flores, L., y Alcalá, J. (2010). Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de Suelos, México: Universidad nacional autónoma de México.
- Fu, C., Yang, W., Tan, B., Xu, Z., Zhang, Y., Yang, J., ... y Wu, F. (2017). Seasonal dynamics of litterfall in a sub-alpine spruce-fir forest on the eastern Tibetan Plateau: allometric scaling relationships based on one year of observations. *Forests*, 8(9), 314.
- Ge, X., Zeng, L., Xiao, W., Huang, Z., Geng, X., y Tan, B. (2013). Effect of litter substrate quality and soil nutrients on forest litter decomposition: A review. *Acta Ecologica Sinica*, 33(2), 102-108.
- Gómez, M. (2018). Fenología reproductiva de especies forestales nativas presentes en la jurisdicción de CORANTIOQUIA, un paso hacia su conservación.
- González, A., y Parrado, Á. (2010). Diferencias en la producción de frutos del roble *Quercus humboldtii* Bonpl. en dos bosques andinos de la cordillera oriental colombiana. *Colombia Forestal*, 13(1), 141-162.

- Guariguata, R. y Kattan, G. (2002). Ecología y conservación de bosques neotropicales (No. 574.52642 E25).
- Hodge A, Fitter AH (2010) La adquisición sustancial de nitrógeno por hongos micorrízicos arbusculares a partir de material orgánico tiene implicaciones para el ciclo del N. *Proc Natl Acad Sci* 107: 13754-13759.
- Homeier J, Hertel D, Camenzind T, Cumbicus NL, Maraun M, Martinson GO, Poma LN, Rillig MC, Sandmann D, Scheu S, Veldkamp E, Wilcke W, Wullaert H, Leuschner C (2012). Los bosques tropicales andinos son altamente susceptibles a los aportes de nutrientes-efectos rápidos de la adición experimental de N y P a un bosque montano ecuatoriano. *PLoS One* 7: e47128.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017). Resultados de monitoreo de la deforestación. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2011). Clasificaciones climáticas de Colombia. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/>
- Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2002). Suelos de Santander, mapa digital a escala 1: 100000. Recuperado de <https://www.igac.gov.co/>
- Irimia, A., Blanco, A., y Oliver, M. (2016). Modelización de la autosuficiencia de las instituciones microfinancieras mediante regresión logística basada en análisis de componentes principales. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 21(40), 30-38.
- Isaac, S.R. y Nair, M.A. (2006). Litter dynamics of six multipurpose trees in a homegarden in Southern Kerala, India. *Journal of Agroforestry System*, 67: 203-213.
- Jaimes, E., y Rosales, M. (2019). Estructura y diversidad en dos bosques naturales tropicales (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Colombia.

- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Kothandaraman, S., Dar, J.A., Sundarapandian, S., Dayanandan, S. & Latif Khan, M. (2020). Almacenamiento de Carbono a nivel de ecosistema y sus vínculos con la diversidad, los impulsores estructurales y ambientales en los bosques tropicales de Western Ghats, India. *Scientific Reports* 10, 13444.
- León, J., González., M, & Gallardo., J. (2011). Ciclos biogeoquímicos en bosques naturales y plantaciones de coníferas en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59 (4): 1883-1894.
- León, J., Vélez, G., y Yepes, A. (2009). Estructura y composición florística de tres robledales en la región norte de la cordillera central de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 57(4), 1165-1182.
- López de la Maza, L., Zumalacárregui de Cárdenas, L., y Pérez, O. (2019). Análisis de componentes principales aplicado a la fermentación alcohólica. *Revista Científica De La UCSA*, 6(2), 11–19.
- López, R., Navarro, L. J. y Caleño, B. (2016) Productos Forestales no Maderables de CORPOCHIVOR. Una mirada a los regalos del bosque. Bogotá D.C. Colombia. 278 pp.
- Madritch, M. y Cardinale, J. (2007). Impacts of tree species diversity on litter decomposition in northern temperate forests of Wisconsin, USA: a multi-site experiment along a latitudinal gradient. *Plant and Soil*, 292(1), 147-159.
- Malacalza, L. (2013). Ecología y ambiente. La Plata, Argentina: Jorge L. Frangi.
- Marian F, Sandmann D, Krashevskaya V, Maraun M, Scheu S (2018) Altitud y etapa de descomposición en lugar de la estructura de origen de la hojarasca, las comunidades de

- microartrópodos del suelo en las selvas tropicales montanas. *Soil Biol Biochem*, 125: 263–274.
- Moreno, M., Domínguez, G., Alvarado, S., Colín, G., Corral Rivas, S., y González, H. (2018). Aporte y descomposición de hojarasca en bosques templados de la región de El Salto, Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(47), 70-93.
- Morffi-Mestre, H., Angeles-Pérez, G., Powers, J.S., Andrade, J.L., Ruiz, A.H.H., May-Pat, F., Chi-May, F., Dupuy, J.M., 2020. Multiple factors influence seasonal and interannual litterfall production in a tropical dry forest in Mexico. *Forests* 11, 1–23.
- Mosquera, H., Palacios, Y., & Bonilla, D. (2007). Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 26(1).
- Quinto, H., Mena, F., y Valoyes, H. (2017). Relación entre la producción de hojarasca y las condiciones edáficas en bosques pluviales tropicales del Chocó Biogeográfico, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 39(106), 29-40.
- Muñoz, J. (2017). Regeneración Natural: Una revisión de los aspectos ecológicos en el bosque tropical de montaña del sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(2).
- Murcia, M. (2019). Dinámica de la caída de hojarasca en un gradiente sucesional del bosque altoandino colombiano. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 179-186.

- Nonghuloo, IM., Kharbhih, S., Suchiang, BR. (2020). La producción, descomposición y contenido de nutrientes de la hojarasca en el bosque latifoliado subtropical superan a los del bosque de coníferas, Meghalaya. *Tropical Ecology*, 61: 5-12.
- Oelbermann, M. y Gordon, A.M. (2000). Quantity and quality of autumnal litterfall into a rehabilitated agricultural stream. *Journal of Environmental Quality*, 29: 603-610.
- Oliveira, R. A., Marques, R., & Marques, M. C. (2019). Plant diversity and local environmental conditions indirectly affect litter decomposition in a tropical forest. *Applied soil ecology*, 134, 45-53.
- Olson, SJ. (1963). Energy storage and the balance of producer and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44: 322-331.
- Pérez, C., Villalba, J. Y Almaza, M. (2013) Fenología del roble (*Quercus humboldtii* Bonpland) en popayán (cauca, colombia) phenology oak (*Quercus humboldtii* Bonpland). Facultad de ciencias agropecuarias.
- Preusser, S., Liebmann, P., Stucke, A., Wirsching, J., Müller, K., Mikutta, R., ... & Kandeler, E. (2021). Microbial utilization of aboveground litter-derived organic carbon within a sandy Dystric Cambisol profile. *Frontiers in Soil Science*, 1, 3.
- Quintero, E., Benavides, A., Moreno, N. y González, S. (2017). Bosques Andinos, estado actual y retos para su conservación en Antioquia. Medellín, Colombia: Fundación Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe, Programa Bosques Andinos (COSUDE). 1 Ed – Medellín, 2018. 542 pp.
- Ramírez-Correa, J. A., Zapata-Duque, C. M., León-Peláez, J. D., & González-Hernández, M. I. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*, 32(5), 303-311.

- Ramos, AL., Armenteras, D. (2018). Interceptación y escorrentía del bosque altoandino en la reserva forestal protectora “El Malmo”. *Actualidades biológicas*, 24(1), 97-108.
- Rave, S., Montenegro, M., & Molina, L. (2013). Caída y descomposición de hojarasca de *Juglans neotropica* Diels (1906) (Juglandaceae) en un bosque montano andino, Pijao (Quindío), Colombia. *Actualidades biológicas*, 35(98), 33-43.
- Rocha, A., & Ramírez, N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (84), 1-12.
- Röderstein, M., Hertel, D., & Leuschner, C. (2005). Above-and below-ground litter production in three tropical montane forests in southern Ecuador. *Journal of Tropical Ecology*, 21(5), 483-492.
- Sahoo, T., Panda, PC. & Acharya, L. (2017). Estructura, composición y diversidad de especies de árboles en bosques caducifolios húmedos tropicales del este de la India: un estudio de caso de la División Forestal de Nayagarh, Odisha. *Revista de investigación forestal*, 1219-1230.
- Salinas, N., y Cárdenas, L. (ed.). (2007). Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies Maderables amenazadas: Primera parte. Bogotá Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones de Colombia SINCHI – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 pp.
- Salas, J., e Infante, A. (2006). Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Rev. For. Lat*, 40, 47-70.
- Sánchez, J. (2001). Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana*, (Es1), 11-27.

- Sayer, E., Rodtassana, C., Sheldrake, M., Bréchet, L., Ashford, O., Lopez-Sangil, L., & Tanner, E. V. (2020). Revisiting nutrient cycling by litterfall—Insights from 15 years of litter manipulation in old-growth lowland tropical forest. In *Advances in Ecological Research*, 62, 173-223).
- Scherer, M., Luis, J., & Potvin, C. (2007). Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. *Oikos*, 116(12), 2108-2124.
- Schulze ED., Beck E., Buchmann N., Clemens S., Müller-Hohenstein K., Scherer-Lorenzen M. (2019) Carbon Relations. En: *Ecología vegetal*. Springer, Berlín, Heidelberg.
- Segura, M., Andrade, H., Sierra, E. (2020). Diversidad florística y captura de Carbono en robledales y pasturas con árboles en el municipio de Santa Isabel, Tolima, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 68(2).
- Smith, T. y Smith, R. (2007). *Ecología* (No. 574.5 S662e6). Pearson Educación
- Suescún, D., Villegas, J., León, J., Flórez, C., García, V. y Correa, G. (2017). Vegetation cover and rainfall seasonality impact nutrient loss via runoff and erosion in the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 3(17), 827-839.
- Thomas, J., Brunette, M., & Leblois, A. (2021). The determinants of adapting forest management practices to climate change: Lessons from a survey of French private forest owners. *Forest Policy and Economics*, 135, 102662.
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua*. Quito, Ecuador: Editorial La Caracola.
- Uyanto, SS (2020). Comparaciones de potencia de las cinco pruebas de autocorrelación más utilizadas. *Revista Pakistaní de Estadística e Investigación Operativa*, 119-130.
- Van der Kooi, C. y Ollerton, J. (2020). The origins of flowering plants and pollinators. *Science*, 368(6497), 1306-1308.

- Vitar, J. (2019). Aproximación del Efecto de la Cobertura Vegetal Sobre la Precipitación Incidente en Relictos de Bosque y Sistemas Agroforestales en el Municipio el Retorno (Guaviare-Colombia).
- Xiogai, G., Zeng, L., Xiao, Wenfa., Huan, Z., Geng, X. y Tan, B. (2013). Efecto de la calidad del sustrato de la hojarasca y los nutrientes del suelo en la descomposición de la hojarasca forestal: una revisión. *Acto Ecológica Sinica*, (33), 102-108.
- Zapata, C. M., Ramírez, J. A., León, J. D., y González, M. I. (2007). Producción de hojarasca fina en bosques altoandinos de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*; 60(1); 3771-3784
- Zhang, H., Yuan, W., Dong, W., Liu, S., 2014. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecol. Complex.* 20, 240–247.

Apéndices

Apéndice A Construcción e instalación de trampas de hojarasca



Apéndice B Elaboración e instalación de bolsas de descomposición



Apéndice C Instalación de pluviómetros



Apéndice D Procedimientos realizados en monitoreo de campo



Apéndice E Trabajo laboratorio producción de hojarasca



Apéndice F Trabajo laboratorio descomposición de hojarasca y humedad del suelo

